

**OPINNÄYTETYÖ
ARI SÄRKELÄ 2012**

**3D-TYÖKONEOHJAUS JA
KUSTANNUSTEHOKKUUS ROVANIEMEN
KAUPUNGIN INFRARAKENTAMISESSA**



**Rovaniemen
ammattikorkeakoulu**
University of Applied Sciences
LUC

MAANMITTAUSTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA



ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

**3D-TYÖKONEOHJAUS JA KUSTANNUSTEHOKKUUS
ROVANIEMEN KAUPUNGIN
INFRARAKENTAMISESSA**

Ari Särkelä

2012

Toimeksiantaja Rovaniemen kaupunki infrapalvelukeskus

Ohjaaja Jaakko Lampinen

Hyväksytty _____ 2012 _____

Tekijä	Ari Särkelä	Vuosi	2012
Toimeksiantaja Työn nimi	Rovaniemen kaupunki infrapalvelukeskus 3D-Työkoneohjaus ja kustannustehokkuus Rovaniemen kaupungin infrarakentamisessa		
Sivu- ja liitemäärä	40		

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on käsitellä kolmiulotteisen työkoneohjauksen käyttöönottoa kunnallistekniikassa. Työssä perehdytään perusteellisesti laitteiston asennusvaiheisiin ja käsitellään myös aineistojen muutoksia. Lisäksi tutkitaan kustannustehokkuuden kasvamista, kun rakennustyömaalla on käytössä koneohjattu työkone. Koneohjaus on yleistynyt viime vuosina suuresti, ja Suomessa sen käyttöönotto on myös tapahtunut kunnallistekniikan osalta. Kustannustehokkuuden tutkimiseksi tässä työssä on esitelty aikaisempia tutkimuksia koneohjauksen käytöstä infrarakentamisen osalta.

Maanmittausala on kehittynyt laitepuolella ja koneohjaus on myös muuttanut mittamiehen roolia työmaalla. Mittamiehellä täytyy olla valmiudet ymmärtää työkoneohjauksen toimivuus ja siihen liittyvät mittausteknilliset asiat.

Opinnäytetyössä tutkittiin kustannustehokkuutta Rovaniemen kaupungin Pöykkölän uudella asemakaava-alueella, jota on rakennettu useampana vaiheena sen laajuuden vuoksi. Vertailupohja saatiin aikaisemmasta rakennusvaiheesta, johon ei ole sovellettu kolmiulotteista työkoneohjausta. Lisäksi työssä toteutettiin pienimuotoinen kysely työkoneiden kuljettajille järjestelmän toimivuudesta. Samalla myös pohdittiin mittamiehen muuttuvia työtehtäviä ja uutta roolia maanrakennustyömaalla.

Työkoneohjauksella saadaan toteutettua maanrakennustyöt kustannustehokkaasti. Laitteistot auttavat erityisesti maamassojen hallinnassa, jolloin vältetään turhalta yli kaivamiselta, mikä puolestaan lisää kaivukoneen tuotettavuutta.

Avainsanat

Työkoneohjaus, kolmiulotteinen, kustannustehokkuus

Author	Ari Särkelä	Year	2012
Commissioned by	City of Rovaniemi		
Subject of thesis	Three-Dimensional Machine Control and Cost-effectiveness in the in the City of Rovaniemi infrastructure building		
Number of pages	40		

The purpose of this thesis was to deal with the introduction of a three-dimensional machine control in the service on municipal infrastructure. The aim of the thesis was to study in depth the system installation steps and discuss the data changes. The machine control has dramatically increased in recent years. In Finland machine control has been taken into use in municipal engineering. Previous studies about machine control in infrastructures were presented in this thesis when studying cost-effectiveness steering mechanism for the use of the infrastructure-building.

There have been much development on equipment on the land surveying industry. Also the machine control has been changed the role of measurement assistant. The measurement assistant must have a capacity to understand the functionality of machine control and the related metrological issues.

This thesis investigated cost-effectiveness in the new town plan area in Pöykkölä that had been built in several phases because of its extent. The earlier construction phases in which three-dimensional machine control was not used, were compared to the present phases. In addition, a small-scale study for the machine drivers about the functionality of the system was carried out. Moreover, the changes in the measurement assistant's tasks and new role at the earth construction site were discussed.

The earthmoving work can be carried out cost-effectively with the help of machine control. The hardware will help on disposal of the earth mass and avoid the excessive excavation over which, in turn increases the excavator production feasibility.

Key words machine control, three-dimensional, cost-effectiveness

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	1
2 TYÖKONEOHJAUS 3D-SOVELLUKSENA	2
2.1 PERUSTEET 3D-KONEOHJAUKSELLE	2
2.2 KONEOHJAUKSEN MÄÄRITTÄMINEN	3
2.2.1 <i>Satelliittipaikannukseen pohjautuva koneohjaus</i>	4
2.2.2 <i>Takymetrimittaukseen pohjautuva koneohjaus</i>	5
2.3 TUKIASEMA	6
2.4 LAITTEISTOJA JA TYÖKONEET	7
2.4.1 <i>Infrarakentamisen työkoneet</i>	7
2.4.2 <i>Pyöräkuormain ja laitteisto</i>	8
2.4.3 <i>Kaivukone ja laitteisto</i>	9
2.5 LAITTEISTON ASENNUS KAIVUKONEESEEN	10
2.6 KAIVUKONEEN KALIBROINNIN ERI VAIHEET	12
3 TUTKIMUKSIA AIKAISEMISTA KONEOHJAUSHANKKEISTA	16
3.1 KONEOHJAUKSEN NYKYTILANNE SUOMESSA JA MAAILMALLA	16
3.2 KÄYTTÖÖNOTTO OULUN KAUPUNGILLA	17
3.3 TULOKSET PROJEKTISTA	18
4 KONEOHJAUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO ROVANIEMEN KAUPUNGILLA	20
4.1 PÖYKKÖLÄN ASUINALUE	20
4.2 MAASTOMALLINNUSPROSESSI JA FORMAATIT	22
4.3 ODOTETTAVAT ONGELMAT	24
4.4 KUSTANNUSTEHOKKUUDEN TAVOITTELU JA LAATU	26
4.5 SITE LINK – SEURANTAOHJELMA	28
5 TULOKSET	31
5.1 KUSTANNUSTEHOKKUUDEN TOTEUTUMINEN	31
5.2 KYSELY TYÖKONEIDEN KULJETTAJILLE	33
5.3 MITTAMIEHEN MUUTTUVA TOIMENKUVA	35
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	38

KUVIO-JA TAULUKKOLUETTELO

<i>Kuvio 1. RTK – GPS mittaus (Nieminen 2011, 15.)</i>	5
<i>Kuvio 2. Tukiaseman GPS-antenni ja radioantenni</i>	6
<i>Kuvio 3. Pyöräkuormain ja Topconin 3DMC Wheel loader – järjestelmä</i>	8
<i>Kuvio 4. Kaivukoneen koneohjausjärjestelmän kokoonpano (Nieminen 2011, 8.)</i> ..	11
<i>Kuvio 5. Satelliittimastojen sijaintien mittaus takymetrillä mitattavaa prismaan.</i>	13
<i>Kuvio 6. Kaivupuomin tappilinjan kalibrointi laserin avulla.</i>	14
<i>Kuvio 7. Kauhan mittojen määrittäminen (Novatron 2011a.)</i>	14
<i>Kuvio 8. Satelliittipaikkannuksen kalibrointi-arvot. (Novatron 2011a)</i>	15
<i>Kuvio 9. CAD piirros Ritaharjun tonteista</i>	18
<i>Kuvio 10. Yleiskartan kuva Haravakadun tonteista (Rovaniemi 2010.)</i>	21
<i>Kuvio 11. Automatisoidun tierakennusprosessin vaiheet. (Kilpeläinen ym 2004.)</i> ...	22
<i>Kuvio 12. Pöykkölän asuinalueen yleiskuva.</i>	27
<i>Kuvio 13. Näkymä Topconin Site Link ohjelmasta.</i>	29
<i>Kuvio 14. Site Linkin reaaliaikainen näkymä koneenkuljettajalle</i>	30
<i>Kuvio 15. Poikkileikkauspiirros vesihuollon osalta</i>	32
Taulukko 1. Kustannukset vesihuollon kanavametrin osalta	31
Taulukko 2. Rakennetun katuneliön kustannukset Haravakadulta	32
Taulukko 3. Toteutuneet prosentuaaliset säästöt yhtä katuneliötä kohden ...	33
Taulukko 4. Tulokset kyselystä	34

1 JOHDANTO

Työkoneautomaatio on tuonut uudet haasteensa maanmittausalalle. Maanmittausala on kehittynyt viime vuosina runsaasti erityisesti laite- ja ohjelmistopuolella. Satelliittipaikannukseen pohjautuva työkoneautomaatio on yleistynyt suuresti infrarakentamisessa. Työkoneisiin asennettavat anturijärjestelmät, tietokoneet ja paikannusjärjestelmät mahdollistavat työkoneen kuljettajalle reaaliaikaisen näkymän kolmiulotteisesta suunnitelmasta. Tämä on muuttanut mittamiehen roolia sekä yleisnäkymän työmailla. Koneohjatulla työmaalla ei ole nähtävissä puupaaluja eikä sihtilappuja, sillä maastoon merkintä on poistunut lähes kokonaan. Mittamiehen työnkuva ei poistu työmailta, vaan se muuttaa sitä ja luo uusia työtehtäviä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia 3D-koneohjausjärjestelmän käyttöönottoa, ja käydä sille asetettujen tavoitteiden toteutumista. Laitteiston asennus käsittää monta eri vaihetta ja tässä työssä perehdytään erityisesti kaivukoneeseen sopivan järjestelmän asennukseen. Lisäksi käsitellään aineistojen prosessoiteja, jotka liittyvät oleellisesti mittamiehen uusin toimenkuviin. Kustannustehokkuuden osoittamiseksi on tehty maailmalla tutkimuksia jo vuosien ajan. Tässä opinnäytetyössä halutaan osoittaa että koneohjausjärjestelmän käyttöönotolla voidaan saada se hyöty ja laatu jota eri laitevalmistajat tuotteilensa tarjoavat. Koneohjaushanke oli tässä projektissa pilotti, joten odotukset olivat maltillisia. Vertailua haluttiin monelta osa-alueelta, jotta saataisiin konkreettiset tulokset. Työssä on esillä myös työkoneiden kuljettajille tehty kysely koneohjauksen toimivuudesta ja mielekkyydestä.

Työkoneohjaus on suuresti tehnyt tulemistaan alaa tuntemattomien tietoisuuteen. Tämän insinööriyön tarkoituksena on toimia pienenä tieto-oppaana kaikille, jotka ovat aiheesta kiinnostuneita ja samalla luoda tarkka kuva tämän hetkisestä kehityksestä. Työssä myös halutaan perehdyttää mallinnusprosessin vaiheita, ja kuinka suunnitelmat saadaan työkoneille sopiviksi. Lopuksi ovat nähtävissä tulokset hankkeen osalta ja tehdyt johtopäätökset.

2 TYÖKONEOHJAUS 3D-SOVELLUKSENA

2.1 Perusteet 3D-koneohjaukselle

3D-työkoneohjaus perustuu kolmiulotteisen maastomallin tuomisesta maanrakennuskoneelle sopivaksi digitaaliseksi kolmiulotteiseksi rakennussuunnitelmakeksi. Kun käsitellään kolmiulotteisuutta, puhutaan X-, Y- ja Z-koordinaateista. X- ja Y-koordinaatit ilmoittavat pisteen tai kohteen sijainnin koordinaatistossa ja Z korkeuden sijainnin korkeusjärjestelmässä. Rakennussuunnitelmissa esitetyt kohteet on sidottu maastokoordinaatistoon. Työkoneeseen tarvitaan sisäinen paikannusjärjestelmä, jonka avulla kone voi operoida rakennussuunnitelman mukaan. Paikannusjärjestelmä käsittää työkoneen liikkuvissa osissa olevat kiihtyvyyssanturit ja laskentayksikön, jolla määritetään kauhan tai terän reaaliaikainen sijainti koneen sisäisessä koordinaatistossa. Satelliittijärjestelmä määrittää koneen maantieteelliset koordinaatit, jotka yhdistetään puomiston laskentaan. Työkoneen ohjaamo on varustettu graafisella näytöllä, josta koneen kuljettaja näkee suunnitelmakekartat ja koneen sijainnin suhteessa suunnitelmaan ja maastoon. 3D-työkoneohjauksen käyttö siis edellyttää paikkatietoa, jonka mittaustarkkuus riippuu sen oikeellisuudesta. Työkoneen automaatiojärjestelmällä voidaan kerätä ja tallentaa koneen työsuorituksen aikana paikkaan sidottuja laatu- ja toteutumatietojen laadunvarmistuksen tarpeisiin. (Heikkilä-Jaakkola 2005, 36-37; Kilpeläinen ym. 2004, 31.)

Koneohjauksen paikannusmenetelminä käytetään satelliittipaikannusta ja takymetrioajusta. Satelliittipaikannus laskee vastaanottimen sijaintia mittaamalla signaalin kulkuajan satelliitista vastaanottimeen. Satelliittipaikannusta käyttävät järjestelmät eli GPS-järjestelmät (Global Position System) on alkujaan kehitetty 1970-luvulla Yhdysvaltain armeijan käyttöön, mutta nykyisin ne ovat myös siviilikäytössä. Toinen merkittävä on venäläinen GLONASS-järjestelmä, joka on ollut toiminnassa 1990-luvulta alkaen. Satelliittijärjestelmät käyttävät sijaintinsa määrittämiseen RTK-paikannusta (Real Time Kinematic), joka on satelliittipaikannustekniikan avulla toteutuva tukiasemalla korjattu paikannusratkaisu. GPS ja GLONASS muodostavat yhteydessä GNSS-järjestelmän (Global Navigation Satellite System), jonka etuna on suurempi satelliittien määrä.

Takymetriohjauksessa työkoneessa olevan prisman sijaintia maastokoordinaatistossa mitataan takymetrillä ja koneohjausjärjestelmälle lähetetään reaaliaikaista tietoa prisman sijainnista kolmiulotteisessa maastokoordinaatistossa. (Novatron 2009a, 46; Laurila 2008, 297-298; Kilpeläinen ym. 2004, 23–24.)

2.2 Koneohjauksen määrittäminen

Työkoneohjaustoiminta perustuu kauhan tai terän tarkan paikan mittaamiseen liikettä tunnistavien antureiden sekä satelliittipaikannuksen avulla määritettävään maantieteelliseen sijaintiin. Antureiden toiminta perustuu kiihtyvyyden, kulman tai kaltevuuden mittaamiseen. Sijainti määräytyy satelliittipaikannusjärjestelmällä, joka koneessa olevan paikannuslaitteen avulla määrittää satelliiteista oman asemansa, ja tukiaseman kautta saatavan korjaustiedon avulla päästään haluttuun tarkkuuteen. Antureiden paikkojen ja koneiden mittojen ollessa selvillä voidaan satelliittipaikannusantennista lähtien laskea reaaliaikaisesti kauhan kaikki koordinaatit. Tämä edellyttää lisäksi huolellista kalibrointia, jonka avulla vastataan järjestelmän toimivuudesta. Yhden antennin järjestelmässä työkoneen suunta määräytyy sen pyöriessä. Kahden antennin vastaanotinjärjestelmässä konetta ei tarvitse pyörittää suuntalaskemisen aktivoimiseksi. Työkoneen toinen antenni laskee suuntaa, jolloin koneen suunta on koko ajan selvillä. Kahden antennin järjestelmä on välttämätön tilanteessa jossa, pyörimiskeskipiste on jatkuvassa X-,Y- suuntaisessa liikkeessä. Kahden antennin järjestelmä on myös hyödyllinen tilanteessa, jossa koneen pyörittäminen ei ole mahdollista, kuten ahdas työkohde. Kahden antennin järjestelmä on suositumpi ratkaisumalli, kun hankitaan koneohjausjärjestelmä työkoneeseen. (Novatron 2009a 46; Ilmonen 2012.)

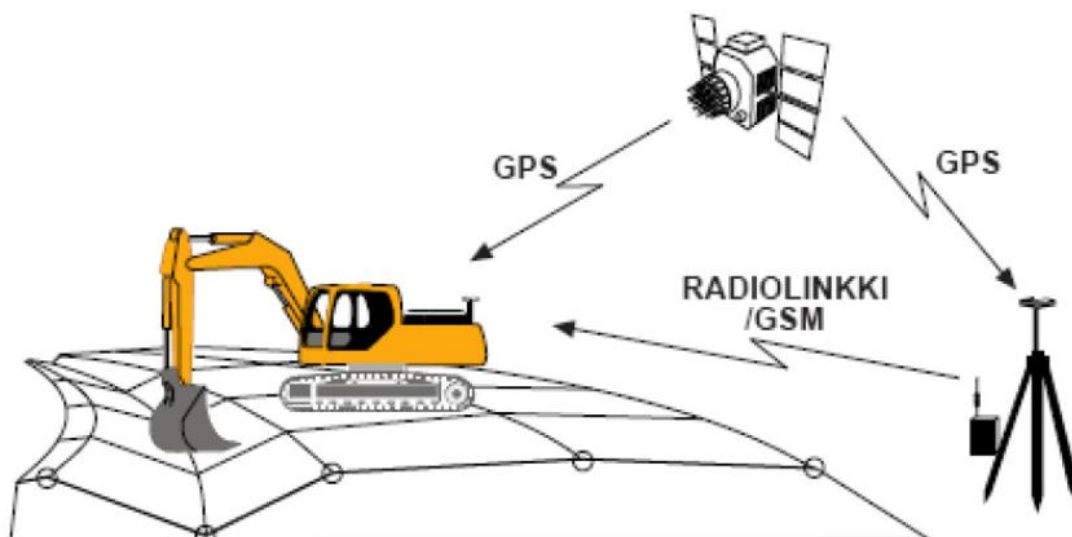
Työkone kuten tässä opinnäytetyössä kaivukone tai pyöräkuormain, voidaan määritellä omassa koordinaatistossaan toiminnallisina pisteinä, kuten eri sarana- ja pallonivelet, sylintereiden kiinnityskohdat, paikannuslaitteen antennit tai prismat. Puomit taas määritellään vastaavasti omassa koordinaatistossaan. Sylintereissä voi olla pituusantureita ja sarananivelissä kulma-antureita ja lisäksi kaltevuus anturit ovat hyödyllisiä. (Salmenperä 2004, 32.)

Koneen koordinaatiston ulkoisen orientoinnin määrittelevät origon maastokoordinaatit ja koneen ja maastokoordinaatiston akselien väliset kiertokulmat. Kaksi kulmaa eli kallistuskomponentit voidaan määrittää kaltevuusantureilla ja pystyakselin ympäri tapahtuva kiertymä eli suuntakulma määritetään kahden tai useamman koordinaattihavainnon avulla. Tarvittaessa suunta voidaan määrittää peilaamalla ulkopuolista suuntapistettä tai maan magneettikenttää perustuen. (Salmenperä 2004, 32.)

Sarananivelillä kytkeytyvien puomien orientointi koneen tai toisen puomin koordinaatiston suhteen määräytyy joko yhden kulman tai yhden etäisyyden avulla. Vastaavasti pallonivelellä kytkeytyvien laitteiden määrittelyssä tarvitaan kolme kulmaa, kolme etäisyyttä tai näiden yhdistelmä. Yhden etäisyyden avulla määräytyy lineaarinen liike johdetta pitkin. (Salmenperä 2004, 32.)

2.2.1 Satelliittipaikannukseen pohjautuva koneohjaus

Satelliittipaikannuksessa sovelletaan menetelmää, jossa liikkuvan työkoneen reaaliaikainen sijainti määritetään suhteessa yhteen tai useampaan kiinteään asemaan. Kiinteä asema voi olla siirrettävä tai alueellinen kiinteä tukiasema. Liikkuvan antennin koordinaatit saadaan aikaviiveellä, joka ei ole vakio. Sijainnin lisäksi saadaan myös ajankohta, johon koordinaatit liittyvät. Satelliittipaikannuksen lähitarkkuus on heikompi ja epävarmuus suurempi kuin takymetripaikannuksen, mutta useamman vastaanottimen asennus työkoneeseen antaa varmistusta ja lisäksi tietoa suunnasta ja kallistuksista. Satelliittipaikannusjärjestelmät ovat hyvä vaihtoehto työkoneiden ohjaukseen, sillä noin kahden senttimetrin tarkkuus riittää moniin maanrakennustöihin. Järjestelmän etuna on kattava toiminta-alue, riippumattomuus sääolosuhteista sekä laitteiden vähäinen siirtelyn tarve työn edetessä. Huonoina puolina ovat tarkkuuden vaihtelut ja mahdolliset katvealueet työmailla. (Salmenperä 2004, 29-30; Kilpeläinen ym. 2004 24–26.)



Kuvio 1. RTK – GPS mittaus (Nieminen 2011, 15.)

2.2.2 Takymetrimittaukseen pohjautuva koneohjaus

Takymetrimittauksessa havaintoina ovat vaakasuunta, korkeuskulma ja vinoetäisyys tunnetulta asemapisteltä liikkuvassa työkoneessa olevaan prismatähykseen. Näiden avulla voidaan laskea asemapisteen ja tähyksen väliset koordinaattierot. Mittaus perustuu siis laserilla tapahtuvaan etäisyyden mittaamiseen sekä sisäisten kulma-antureiden määrittämiin suuntakulmiin. Koneohjauksessa käytetään ATS-takymetrejä (Advanced Tracking System), jotka on varustettu automaattisella prisman seurannalla, jolloin ne mittaavat prisman sijaintia useita havaintoja sekunnissa. Koneohjausjärjestelmän tietokone yhdistää takymetrillä mitatun paikkatiedon ja antureiden tuottamat tiedot koneen ja puomin asennoista ja pystyy näin määrittämään kauhan tai terän yksiselitteisen sijainnin kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Takymetrin ja koneen välillä on oltava esteetön näkyvyys ja toisaalta etäisyys näiden välillä ei saisi kasvaa liian suureksi. Takymetripaikannukseen perustuva työkoneohjaus on satelliittipaikannusta tarkempaa erityisesti korkeuden määrittämisessä. Yleisimmät käyttösovellukset ovat eri asfaltinlevittimet ja päällystettäviä kerroksia muotoilevat tiehöylät. Takymetriseurantaan perustuva koneohjaus ei ole käytettävyytensä kannalta paras järjestelmä, mutta erinomaisen korkeatarkkuuden vuoksi se on yleisesti käytössä. (Salmenperä 2004, 29-30; Kilpeläinen ym. 2004 23-24.)

2.3 Tukiasema

Satelliittipaikannuksessa signaalin kulkumatka on erittäin pitkä ja häiriöaltis, mikä puolestaan vähentää mittaustarkkuutta. Tarkkuuden parantamiseksi, on otettu käyttöön kiinteä tukiasema. Edelle mainitussa RTK-paikannuksessa tukiasema sijaitsee tunnetulla pisteellä. Tukiasemalla oleva vastaanotin lähettää mittaamansa havainnot työkoneelle eli havaitaan tunnettujen ja havaittujen koordinaattien välistä eroa. Tämä syntyneen korjaustiedon avulla työkone on mahdollista paikantaa senttimetrin tarkkuudella.



Kuvio 2. Tukiaseman GPS-antenni ja radioantenni

Tukiasema kostuu satelliittipaikantimesta, radiolähtimestä, tiekoneyksiköstä ja virtalähteistä. Tukiaseman käyttöönotossa tulee ottaa huomioon muutamia oleellisia asioita. Ensinnäkin tukiasema tulee sijoittaa siten, että sillä on mahdollisimman esteetön näkyvyys satelliittitaivaalle. Erityisesti tukiaseman etelän puoleisia esteitä tulisi välttää, sillä satelliitit sijaitsevat pääsääntöisesti etelänpuoleisella taivaalla. Tukiaseman paikanninyksikkö voidaan asettaa

sisätiloihin verkkovirran piiriin, jolloin tukiaseman alustusta ei tarvitse tehdä päivittäin sen ollessa päällä. Kaapelit tulee kiinnittää huolellisesti niille osoitetuille liittimille. Ennen kuin tukiasema on käyttövalmis, se tulee alustaa.

(Novatron 2009b, 2.)

Rovaniemen kaupungin pilotti-hankkeessa oli erillinen tukiasema käytössä. Tukiaseman toimitti Novatron Oy. Tukiaseman paikka ratkaistiin tuomalla se työmaa-alueelle, jolla pystyttiin varmentamaan parempi toimivuus. Työkoneet olivat muutamien satojen metrien päässä tukiasemasta. Yleisesti etäisyys ei saisi olla noin viittä kilometriä suurempi, jolloin korjaus-signaali on ollut vielä kantava. (Ilmonen 2012.)

2.4 Laitteistoja ja työkoneet

2.4.1 Infrarakentamisen työkoneet

Maailmalla tämänhetkiset työkoneiden ohjausjärjestelmät koostuvat tyypillisesti erillisestä työstöterän asentoa ja sijaintia osoittavasta perusjärjestelmästä ja sen päälle erikseen asennutusta paikkatietoa ja 3D mallia hyödyntävästä järjestelmästä. Tämä 3D-sovellus tuottaa poikkeamatietoa, jota välitetään tietoliikenneportin kautta terän tai kauhan kallistusautomaatiikalle tai kuljettajaa ohjaavalle järjestelmälle. Eri konetyyppien toimintojen automatisointiin tarvitaan eritasoisia ohjausjärjestelmiä myös työmenetelmästä ja sen tarkkuusvaatimuksista riippuen. (Heikkilä-Jaakkola 2004, 29.)

Infra ja yhdyskuntarakentamisessa on käytössä yleisesti samoja työkoneyksiköitä, joita on käytössä normaaleissa maanrakennustöissä. Tunnetuimpia työkoneita ovat eri tela- tai pyöräalustaiset kaivinkoneet, pyöräkuormaimet, puskutraktorit ja tiehöylät. Pilottihankkeen oli tarkoitus saattaa 3D-koneohjausjärjestelmä pyöräkuormaimeen ja kaivinkoneisiin, koska työkohteen maansiirto ja eri kuormaustyöt tehdään lähes 90 %:isesti näillä työkoneilla. Rovaniemen kaupungin infrapalvelukeskus pyysi tarjouspyynnöt eri laitevalmistajilta. Myös yksityiset urakointiyritykset kilpailuttivat koneohjausjärjestelmät mutta ehtona oli, että järjestelmä olisi yhteensopiva kaikille yrittäjille. Rovaniemen kaupunki osallistui asuinalue- ja rakentamiseen yhdellä omalla

pyöräkuormaimella. Kaivinkoneet kilpailutettiin normaalikäytännön mukaan yksityisiltä yrittäjiltä ja kaivinkoneet tuli varustaa 3D-koneohjausjärjestelmällä.

2.4.2 Pyöräkuormain ja laitteisto

Eri tie- ja kadunrakennustyömailla selvästi yleisin kuormauskone ja maansiirtokone on pyöräkuormain. Pyöräkuormaimen tärkein tehtävä on maaineisten ja kalliomassojen kuormaus kuljetusvälineisiin, ja lyhyellä alle 200m:n siirtomatalla sitä voidaan käyttää maansiirtoon. Suuret pyöräkuormaimet soveltuvat hyvin maamassojen siirtoihin sekä penkereen tiivistystöihin. Koneen koko ja kauhan mitoitus vaikuttavat oleellisesti rakennemateriaaliseen kuormaukseen. Kuormauksen työketjusta voidaan erottaa aloittavat työt, kuorman ajo materiaalin ottopaikkaan, kauhan täyttö, kulku kauha täynnä, kauhan tyhjennys ja paluu takaisin materiaalin ottopaikkaan. Työketju toistuu yleensä samanlaisesti, kuormaustarpeiden mukaan. (Heikkilä-Jaakkola 2004; 30-31.)

Rovaniemen infrapalvelukeskuksen kalustoon kuuluu kolme pyöräkuormainta, joista yhteen yksikköön asennettiin 3D-koneohjausjärjestelmä. Rovaniemen kaupunki sai tarjouspyynnöt eri laitevalmistajilta, ja tarjouskilpailun voitti Mitta Oy, jonka puolesta toimitetaan asennettuna Topcon 3DMC Wheel loader laitteiston. Laitteisto asennettiin 7-8.12.2011, jolloin samassa pidettiin pienimuotoinen koulutustilaisuus ja annettiin informaatiota.



Kuvio 3. Pyöräkuormain ja Topconin 3DMC Wheel loader – järjestelmä

2.4.3 Kaivukone ja laitteisto

Kaivinkone on tietyömaan yleiskone, jolle tulee eniten käyttötunteja tietyömaalla. Kaivukoneen pääasialliset työtehtävät ovat edelleen kaivu- ja kuormaustyöt. Materiaalinen lastauksessa kaivukoneen käyttö on suositeltavaa, sillä materiaalien lajittuminen on yleensä vähäisempää, kuin taas pyöräkuormaimella lastattaessa. Kaivukoneet ryhmitellään liikkumistapansa mukaan, yleensä tela- ja pyöräalustaisiin koneisiin. Tela-alustaisen kaivukone on hyvän kantavuutensa vuoksi käytetyin kone pohjatöissä, kun taas pyöräalustainen tarvitsee kantavamman työskentelyalustan. Pyöräalustaisen kaivukoneen etuna on siirtonopeus työmaiden välillä. Myös kuivatus-, leikkaus-, pengerrys- ja materiaalien vastaanotto voidaan suorittaa kaivukoneella. Kaivukoneiden yleisin työväline on kuokkakauha, jonka edullisin työskentelyalue on koneen ajotasossa tai alapuolella. Vaativimmissa luiskatöissä käytetään kääntyvää ja pyörivää kauhaa tai luiskan muotoiluun kehitettyä erikoiskauhaa. (Heikkilä-Jaakkola 2004, 42-46.)

Kaivinkoneen normaaliin työketjuun kuuluvat aloittavat työt, materiaalin otto kauhaan, kauhan kääntö, materiaalin purku ja lopettavat työt. Yleisin työtekniikka on kuokkakaivuu. Koneen hetkittäisten asentojen ja eri liikevapausasteiden hallinta vaatii kuljettajalta ammattimaista osaamista. Pengerrystöissä kaivukone muotoilee ja viimeistelee rakennekerroksia ja tieluiskia täysin kolmiulotteisesti. Kaivukoneen työskentelyssä tarvittavien kääntökulmien tulisi olla mahdollisimman pienet. Geometriset tarkkuusvaatimukset ovat leikkaus- ja pengerrystöissä yleensä $\pm 5-10$ cm, ja viimeistelytöiden vaatimukset voivat olla tiukempiakin. Kaivukoneautomaation sovelluskehityksissä on jouduttu ratkaisemaan työkoneen keskiakselin ympäri pyörivän eli kaivukonealustaisen koneen kinemaattinen malli, jonka perusteella 3D-ohjausjärjestelmä on voitu toteuttaa. 3D-mallin perustuvan ohjausjärjestelmän hyödyntäminen edellyttää koneen paikan ja asennon reaaliaikaista mittaamista. Kaivukoneen ohjauksessa paikannusjärjestelmäksi tarvitaan esimerkiksi kaksi satelliittipaikannus vastaanotinta, sekä kallistus- ja kulmanuritut rungon asennon mittaamiseen. (Heikkilä-Jaakkola 2004, 42-46.)

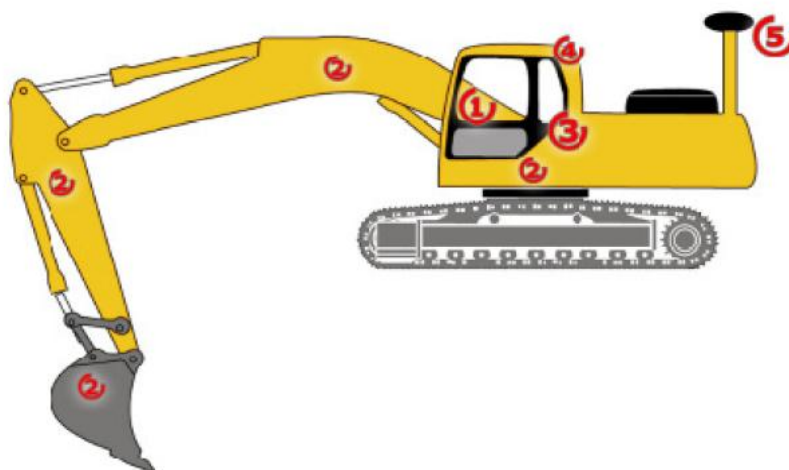
Pilotti-hankkeen konekaivuun osalta kilpailutettiin yksityiset yritykset, jotka saivat jättää tarjouspyynnöt määräaikaan mennessä. Tarjousten perusteella urakan sai Maarakennus Kemppe Oy. Yritys osallistuu hankkeeseen kolmella kaivinkone yksiköllä. Mittauslaitteisto oli kaivukoneissa Topconin 3DMC-laitteisto.

2.5 Laitteiston asennus kaivukoneeseen

Koneohjauksen laitteiston ja mittausjärjestelmän asennus on suhteellisen yksinkertainen toimenpide, jonka keskimääräinen kesto on yksi työpäivä. Asennustyö voi myös kestää pitempääkin, jos asennuksen yhteydessä ilmenee ongelmia. Eri koneiden ominaisuudet voivat vaikuttaa työn nopeuteen. Esimerkiksi niin sanottu lyhytperäinen kaivukone on haastavampi kohde asentajalle, koska tila on rajallisempi laitteistolle kuin normaalikokoisessa kaivukoneessa.

Antureiden asennus on tarkka toimenpide, jossa täytyy huomioida työkoneen tyyppi, ja valmistajan hyväksynyt eri lisälaitteille. Kaikki työkonevalmistajat eivät hyväksy reikien poraamista puomistoon, jonka avulla voidaan anturit kiinnittää tehtyihin kierteisiin. Tämän vuoksi on olemassa asennusalustoja, jotka voidaan hitsata kiinni kaivuvarsiin. Anturit asennetaan yhdensuuntaisesti puomien tappien ja keskipisteen välisen suoran linjan kanssa. Antureihin liitetään kaapeli, jonka avulla ne ovat yhteydessä keskenään. Viisainta asennuksessa on tuota kaapeli anturin päätepisteeltä toiselle anturille. Tällöin puomistoon ei jää ylimääräisiä kaapeleita, jotka voisivat mahdollisesti rikkoontua koneen työskennellessä. Anturit ovat malliltaan signaaliprosessorilla varustetut CAN-väyläantureita, jotka kestävät kovimpia lämpötilaeroja ja kestävät kovaa käyttöä. Työnkoneeseen asennettavien antureiden määrä vaihtelee käytön mukaan mutta yleensä lukumäärä on seitsemän anturia. Kuviossa 4, on nähtävissä kaivukoneessa olevat anturit. Ensimmäinen anturi sijaitsee ylävaunussa mahdollisimman lähellä pyörimispistekeskipisteessä, jolla on tietty etäisyys antennin kiintopisteeseen. Runkoanturin paikka siirretään ohjelmistoon laskennallisesti, ja etäisyys kompensoidaan laskemalla. Puominvarressa on toinen anturi, kauhanvarressa kolmas, ja kauhan kallistajassa neljäs. Pyörivä kauha, eli Indexatorin Rototiltin pyöritysosaan ei ole olemassa

toistaiseksi omaa anturia. Asentaminen on lähes mahdotonta, koska työ vaatii kauhan purkamisen ja omanlaisensa anturin. Tästä johtuen anturin hinta muodostuisi liian suureksi, suhteessa käytettyyn työhyötyyn. Rototiltin kallistajaan on toki mahdollista asentaa anturi. Topconin järjestelmällä tehdään niin sanottu silmämääräinen offset – kalibrointi, jossa antureille lasketaan oikea asento varsinaisen kalibroinnin yhteydessä. (Ilmonen 2012; Jääskeläinen 2010, 40-41,61; Novatron 2011a, 12-13; Topcon 2010, 147-148.)



Kuvio 4. Kaivukoneen koneohjausjärjestelmän kokoonpano (Nieminen 2011, 8.)

Näytön rooli on työkoneenkuljettajalle oleellinen. Koneohjauksessa käytettävät näytöt ovat LCD tyyppisiä kosketusnäyttöjä, joiden koko on noin 6-9". Työkoneen ohjaamoon asennettavan näytön paikka täytyy valita järkevästi. Lähtökohtaisesti näytön tulee olla hyvin koneenkuljettajan ulottuvilla. Ergonomisesti on tärkeää, että kuljettaja ei joudu kurottelamaan ja kääntämään päätään tarkkaillessaan näyttöön. Tämä aiheuttaa työtahdin hidastumista ja mahdollisia vaaratilanteita. Näytön paikka tulisi valita siten, että kuljettaja voi tarvittaessa silmäillä näyttöä työskennellessään, ja vältyttäisiin edellä mainituilta tilanteilta. Näyttö ei saa myös peittää näkyvyyttä työkoneesta. Näytön rooli on koneohjauksessa keskeinen, jonka avulla työkoneen kuljettaja seuraa ja toteuttaa rakennussuunnitelmia. Näyttöissä on olemassa myös hyvät säädöt, jotka mahdollistavat jokaiselle kuljettajalle sopivat säädöt. Kosketusnäyttöjen teknologia on edennyt viime vuosina huimasti, joten on odotettavissa, että koneohjausjärjestelmän näyttöihin on tulossa tulevaisuudessa myös huimaa kehitystä. (Ilmonen 2012; Novatron 2011a, 11.)

Järjestelmän toiminta perustuu vastaanotinjärjestelmään, joka on eräänlainen tietokone. Tietokone asennetaan yleensä kaivukoneen sivulla olevien luukkujen alle. Paikka täytyy olla siis suojaista, ja tietokone pultata tukevasti kiinni. Topconin 3DXI-järjestelmä käsittää sisäänrakennetun satelliittipaikannus vastaanottimen, radiomodeemin ja 3G-modemiin, jonka avulla voidaan tarvittaessa ottaa etäyhteys suoraan palvelimeen. Anturit, niille menevät kaapelit, ja näyttö yhdistyvät johdoilla. (Novatron 2011a, 18; Topcon 2010, 148.)

Satelliittiantennit eli satelliittipaikannusmastot tulisi asentaa tarkasti. Paikka antennin masto tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle puomiston keskilinjaa mutta silti mahdollisimman kauas työkoneen pyörimiskeskisteestä. Suunta-antennin masto asennetaan mahdollisimman etäälle paikka – antennista, jotta suuntakulmanlaskennan tarkkuus olisi paras mahdollinen. Mastot kiinnitetään pulteilla koneen runkoon, koneen peräpäähän. Satelliittipaikannusantennin kaapeli sijoitetaan antennin ja hytin väliin mahdollisimman suojaista reittiä. Lisäksi asennetaan vielä radioantenni työkoneen ohjaamoon katolle, mahdollisimman kauas puomistosta, ja muista antenneista. (Novatron 2011a, 19-20.)

2.6 Kaivukoneen kalibroinnin eri vaiheet

Kaivukoneen käyttöönotto käsittää myös monivaiheisen kalibroinnin, jonka avulla saadaan koneelle mahdollisimman oikea mittaustarkkuus. Kalibrointi käsittää työkoneen kalibroinnin, puomien osalta ja myös eri kauhojen ja terien kalibroinnit. Satelliittipaikannusmastojen sijainti mitataan suhteessa pyörimiskeskisteeseen ja puomiston keskilinjaan. Mittauksessa olisi suositeltavaa käyttää takymetriä ja prismasauvaa, jolloin saavutetaan tarkka sijainti. (ks. kuvio 5). Mittauksessa voi käyttää linjamittausta, jonka avulla voidaan laskea manuaalisesti mastojen sijainnit ja syöttää tiedot työkoneen järjestelmään. Mitat voidaan myös siirtää suoraan koneeseen takymetristä, erillisellä muistitikulla. Tarpeen vaatiessa GPS-mastojen paikat voidaan mitata käyttäen mittanauhaa, mutta poikkeama voi olla huomattava ja se heikentää koneen mittaustarkkuutta. (Novatron 2011a, 26; Topcon 2010, 199.)



Kuvio 5. Satelliittimastojen sijaintien mittaus takymetrilla mitattavaa prismaan.

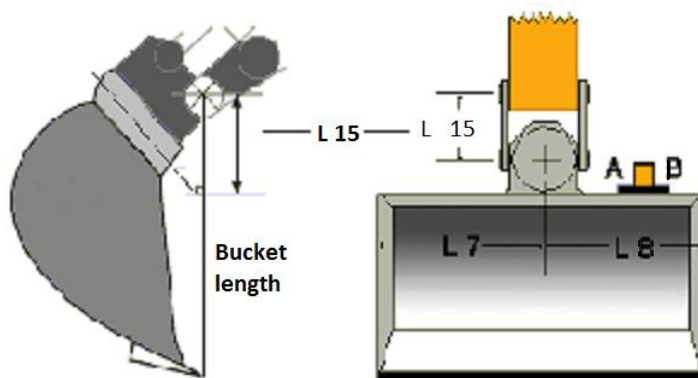
Tappilinjoiille suoritetaan myös kalibrointi. Topconin järjestelmässä muodostetaan kaivupuomin tapin ja kauhan tapin välinen pystysuora vertailulinja tasolaserin tai luotilangan avulla. Laserin tulee kohdata molempien tappien keskilinjat. Kalibroinnissa anturi asetetaan näyttämään todelliset arvot. Lisäksi mitataan tyvitapin ja kaivuvarren tapin välinen korkeusero, ja tarkistetaan että anturin arvo on sama mittaustulos. Mikäli havaitaan poikkeama, tulee anturia säätää mekaanisesti siten, että anturin arvo on sama kuin mitattu arvo. (Novatron 2011a, 26-27; Topcon 2010, 214.)

Työkoneelle kalibroidaan yleensä useampi kauha, koska työskentelyvaiheet vaativat erilaisia kauhoja. Kauhan kalibrointiin voidaan käyttää rullamittaa, jolla mitataan kauhan pituus kaivuvarren alimmasta tapista huulilevyn tai piikin kärkeen. Myös otetaan leveys mitat vasemmalle ja oikealle, koska kauhan puoliskot voivat olla eri levyiset. Järjestelmään voidaan syöttää kauhojen tiedot. Kalibrointi tulee suorittaa myös uudelleen aina jonkin ajan kuluttua, sillä kauhan huulilevy tai piikit kuluvat koneen työskennellessä.

(Novatron 2011a.)



Kuvio 6. Kaivupuomin tappilinjan kalibrointi laserin avulla.

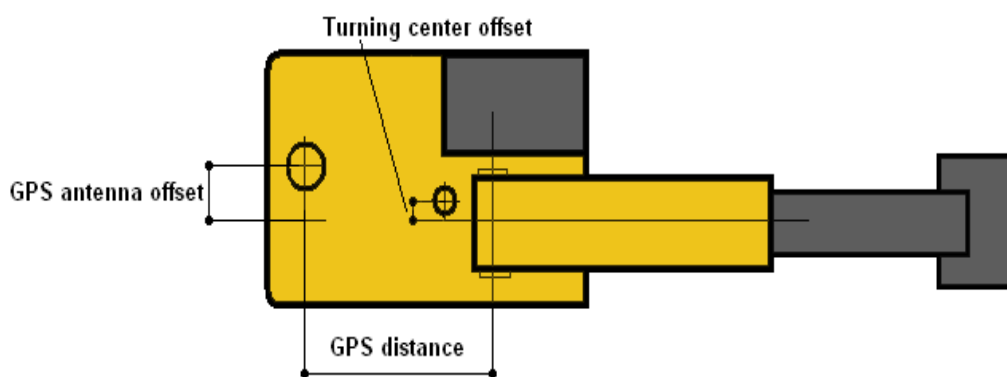


Kuvio 7. Kauhan mittojen määrittäminen (Novatron 2011a.)

Kontrollipisteeltä voidaan tarkistaa järjestelmän tarkkuus aina säännöllisin väliajoin. Kontrollipiste tulisi sijoittaa maastoon sellaiseen paikkaan, jossa se olisi tukevasti ja sen liikkuminen ei olisi mahdollista. Merkintään voidaan käyttää suurta kiveä ja naulaa, mutta esimerkiksi suuren paalun upottaminen maahan takaa tukevan kontrollipisteen. Kauha lasketaan vertailupisteelle ja

sitä verrataan tunnetun pisteen koordinaatteihin. Mikäli poikkeamat ovat suuret, on tapahtunut kalibrointi virhe ja toimenpide uusitaan tarvittaessa niin kauan kunnes saadaan oikea tarkkuus.

Kalibrointi käsittää myös työmaan koordinaatistoon sovittamiseen, joko paikallisella muunnoksella tai offseteilla. Paikallisessa muunnoksessa mittausohjelma laskee vastinpisteiden perusteella muunnosparametrit jäännösvirheen vastinpisteiden ympäröivälle alueelle. Tämä menetelmä sopeutuu koneohjaukseen muuta mittaus toimintaan paremmin, jos työmaa pysyy samassa sijainnissa pitkiä aikoja. Haasteena on mitata useampi piste, mutta kokonaisuudessa se on vaivaton tehtävä. Offset-menetelmässä olemassa olevaa koordinaatistoa, esimerkiksi KKJ siirretään parametrin arvon verran johonkin haluttuun suuntaan. Tällä tavoin ei voida varmistua koordinaatiston pätevyydestä kuin kyseisellä pisteellä. Usein virheitä syntyy siis, että koordinaattiakselit osoittavat eri suuntiin. Koordinaatit siis lähtevät ”pakenemaan” mitä kauemmaksi kalibrointipisteestä mennään. Mikäli pisteet eivät täsmää pitkän matkan päässä, on lähes mahdotonta korjata asia. Järjestelmissä usein löytyy valmiita koordinaatistoja ja ne täsmäävät vaihtelevalla menestyksellä esimerkiksi valtakunnallisiin KKJ- tai EUREF-järjestelmiin. Mitä suuremmaksi työkoneiden määrä työmaalla kasvaa, sitä tärkeämpänä on noudattaa koordinaattikuria ja yleensäkin asetusten sekä projektimenetelmien vakiointia. (Ilmonen 2012.)



Kuvio 8. Satelliittipaikannuksen kalibrointi-arvot. (Novatron 2011a)

3 TUTKIMUKSIA AIKAISEMISTA KONEOHJAUSHANKKEISTA

3.1 Koneohjauksen nykytilanne Suomessa ja maailmalla

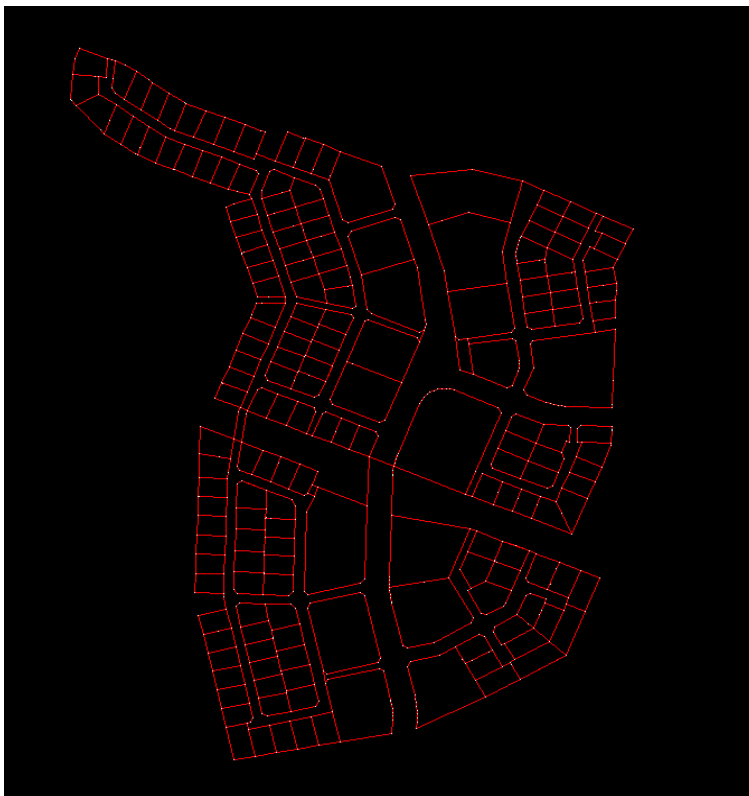
Koneohjauksen merkitys ja käytännöt ovat olleet Suomessa jo vuosikausien mittaiset. Kunnallistekniikan osalta koneohjaus on tekemässä läpimurtoa ja samalla siirtymässä yksityisiltä urakoitsijoilta kohti kunnallisia pilottihankkeita tukeakseen. Hankkeille on mitattu lähtötietoja ja maastomalleja 3D-tietona sekä myös ilmasta käsin tapahtuvalla laserkeilauksella. Suuremmat hankkeet ja uudet asuinalueet ovat kustannustehokkainta mitata ilmasta. Silti tarkentavat mittaukset ja aineistojen sitomiset paikalleen tehdään joko takymetrimittauksella tai satelliittipaikannuksella. Caterpillar Inc. tuottaman tutkimuksen mukaan työmaalla konetyön kapasiteetin kasvua on esimerkiksi tiehöylällä yli 90 %, kaivukoneella yli 30 % ja puskutraktorilla 0-20 % luokkaa. Kyseinen tutkimus suoritettiin rakentamalla kaksi identtistä väylää rinnakkain, toinen perinteisellä menetelmällä ja toinen mallintamalla koneohjausta hyödyntäen. Suomessa infrarakentamisessa koneohjaus on käytössä muutamassa sadassa yksikössä, lähinnä hankekohtaisesti. (Tekes 2010, 6-8.)

Euroopassa Norja, Ruotsi ja Hollanti ovat edelläkävijöitä koneautomaation toteuttamisessa, ja lisäksi Puolassa on tehty uudismoottoritietä koneohjauksella. Koneohjausmenetelmällä on havaittu etuja myös pienissä rakennuskohteissa. Tietomallien hyödyntämisestä rakennushankkeissa on jo ulkomailta saatavilla tilastotietoa. Norjan tiehallinto on selvittänyt väylähankkeiden suunnittelun aikaisten kustannusarvioiden pitävyyden suhteessa toteutuneeseen eri hankeluokissa. Tutkimuksen mukaan suurissa hankkeissa kustannusarvion muutos on pieni, mutta yksittäisen muutoksen arvo voi olla suuri. Pieniä hankkeita tehdään lukumääräisesti eniten ja pienissä hankkeissa ilmenee suurimmat kustannusylitykset. Uudet väyläkohteet rakennetaan pääsääntöisesti koneohjausta hyödyntäen. Myös Aasian alueella Kiina on aloittanut koneohjauksen käyttöönoton louhoksilla. Australiassa koneohjaus on laajassa käytössä, ja Yhdysvalloissa sitä on hyödynnetty useissa eri kohteissa. (Tekes 2010, 6-8.)

3.2 Käyttöönotto Oulun kaupungilla

Koneohjausprojekti Oulun kaupungilla perustui toukokuussa 2009 InfraTM -hankkeen hyväksymään projektiehdotukseen. Hanke toteutettiin samaan aikaan yhteistyössä Tampereen kaupungin kanssa. Pilotin tarkoituksena oli tuottaa malli uudesta katurakennushankkeesta ja testata sitä näin molemmilla paikkakunnilla. Projektin tavoitteena oli kehittää ja koekäyttää käytännössä tuotemallipohjaista kadunrakennusprosessia suunnittelusta toteutukseen. Päämääränä oli toteuttaa katuhankkeeseen soveltuva tietomallipohjainen hankinta- ja suunnitteluprosessi, jonka avulla saadaan parempi tuotettavuus perinteiseen toimitapaan verrattuna. Pilotti kohde Oulun kaupungissa oli Ritaharju-niminen asuinalue, joka oli kokonaisuudessaan uudisrakennuskohde. Oulun kaupunki rakennutti alueen valmiiksi kesällä 2010, ja samalla seurattiin toimintamallia ja kehittämistarpeita. Kyseisen pilotin tuloksia hyödynnettiin syksyllä 2010 alkaneessa Tampereen Veisun alueen pilottikohteessa. Ritaharjun osalta toteutettiin viiden kilometrin edestä katuja, ja saman verran kevyenliikenteenväyliä. Alueelle rakennettiin myös meluvallia lähes 2,5 kilometriä, kiertoliittymiä, hiihtoladun silta, avo-ojia ja altaita. Ritarjun rakentamisessa käytettiin 3D-koneohjauksella varustettua kaivukoneita sekä tiehöylää. (Mustonen 2012; Tekes 2010, 9-10.)

Rakennettava kohde tilattiin erillistyönä konsultin antaman tarjouksen mukaisesti pilottia varten. Lähtöaineistolle ei määritetty erillisiä lisävaatimuksia, vaan aineistona käytettiin olemassa olevaa suunnitelma aineistoa. Alueen suunnitteli konsultti, joka tuotti käytännön mittausaineiston sekä koneohjausmallit niille sopiville ohjelmistoille. Koneohjausmallit tulivat LandXML-formaatissa, jotka siirrettiin suoraan työkoneisiin. Koneohjausrakentaminen koettiin hyvänä mahdollisuutena infra-alalle, ja kustannushyötyjen ja laadun parantamiselle asetettiin tavoitteet. Suurimmat haasteet tilaajan tarjouspyyntö- ja sopimustoiminnassa on hankintaprosessin uudistaminen siten, että uusi toimintamalli mahdollistaa koneohjauksen huomioinnin kaikissa prosessin vaiheissa, heti hankkeen käynnistettyä suunnittelussa, rakentamisessa sekä ylläpidossa. Myös lähtötietojen laajuus vaativat erityishuomiosta tietojen täydelliseen hyödyntämiseen suunnittelussa ja rakentamisessa. Lähtötiedoissa tulisi olla huomioituna kaikki saatavilla oleva mitattu tieto, sekä olemassa oleva infra. (Mustonen 2012; Tekes 2010, 11.)



Kuvio 9. CAD piirros Ritaharjun tonteista

3.3 Tulokset projektista

Projektista ilmeni, että uudessa toimintamallissa tarvitaan monella osa-alueella uusia määrittelyjä tai entisten tarkennuksia. Todettiin, että pääpaino on nykyisen toimintaprosessin uudistamisessa, koulutuksessa ja parempien työkalujen tai ohjelmistojen kehittämisessä. Projektista ei toteutettu virallista kustannusvertailua, joten tältä osin ei voida osoittaa mahdollista taloudellista hyötyä. Rakentamisen tarkkuus ja laatu parantuivat koneohjauksen myötä, mutta toimintamalli edellytti laadukkaat laitteet, aineistot ja koulutusta. Kuitenkin todettiin joiltakin osin kustannussäästöjä, koska yleisesti projektista jäi positiivinen käsitys työnjohdolle. Hankinnassa tulee kiinnittää huomiota kokonaisyötyyn eikä osioptimointiin prosessin yksittäisissä vaiheissa, näin menetetään hyöty suurimmilta osin tai kokonaan. Todettiin että suurin kustannushyöty tulee rakentamisessa. Jos käytössä on tietomalli kohteesta, muttei sitä hyödynnetä rakentamisvaiheessa, kustannushyöty jää saavuttamatta. Mittaus ja laadunvalvonta tarvitsevat uudet ohjeistukset ja laitteet mittauksiin sekä kartoittamiseen. Urakoitsijat olivat alussa epäilevällä mielellä projektin toteuttamiseen osalta kalliiden laiteinvestointien takia. Projektin lopulla todettiin että, laitteisto havaittiin hyväksi, nyt laitteistoista ei haluttaisi luopua pois.

Jatkoa varten keskusteltiin eri jatkokehitystarpeista, jossa käsiteltiin asioiden edelleen kehittämistä ja projektin aikana tulleista uusista asioista. Suurimmat kehitysideat koskivat laitteistoja ja aineistoja, joiden avulla saadaan parempi hyöty. Koneohjauksen tulevaisuus ja käytettävyys Oulun kaupungilla on saamassa jatkoa kyseisen pilotin lisäksi. Jatkossa kaikkiin suurempiin rakennuskohteisiin tilataan oletuksena koneohjaukseen sopivat suunnitelma-aineistot. Näiden osalta on pyritty välttämään turha aineistojen formaattimuutostyöt, jotka vievät omat resurssinsa projektissa. Projektissa ilmeni myös ohjelmistokehitystarve koneohjauslaitteiden LandXML-aineistojen hyödyntämiselle, sekä laitteiston fyysisen laskentatehon parantaminen. Lokakuussa 2011 alkoi Oulussa Kivikkokankaan nimisen asuinalueen rakentamistyöt. Asuinalue onkin huomattavan kokoinen, ja alueella työskentelee noin 15 eri työkonetta, jotka ovat varustettu koneohjausjärjestelmillä. Tällä hetkellä Oulun kaupungilla on käytössä oma erillinen tukiasema, koska kokeilu GSM-korjauksen kautta ei tuottanut tyydyttävää tarkkuutta ja tulosta. (Mustonen 2012; Tekes 2010, 24-25.)

4 KONEOHJAUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO ROVANIEMEN KAUPUNGILLA

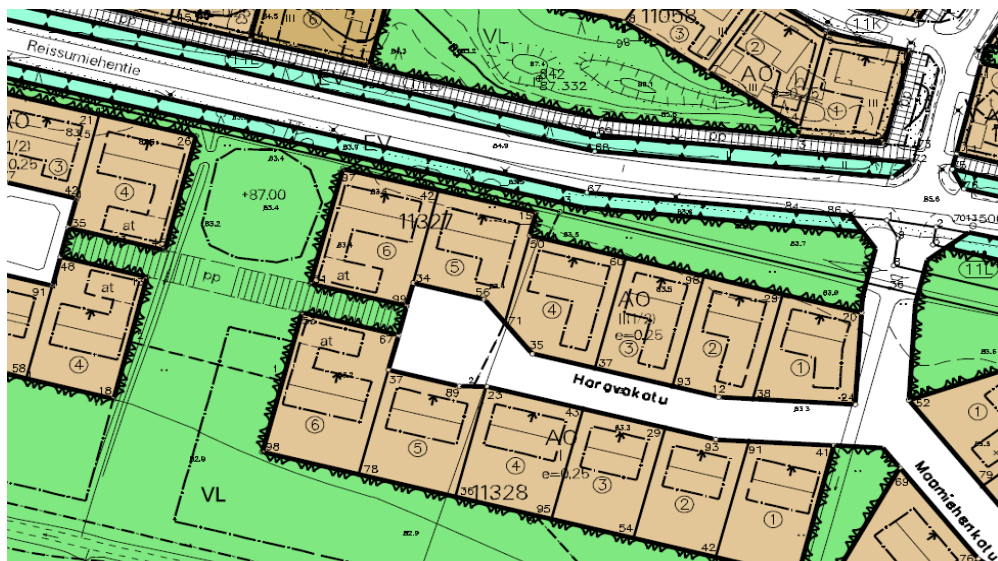
4.1 Pöykkölän asuinalue

Rovaniemen kaupungissa olevan Pöykkölän uusi asemakaava-alue liittyy nykyiseen Pöykkölän nykyiseen asuinalueeseen, joka sijoittuu Kajaanintien ja Reissumiehentien välisellä alueella Pöyliöjärvestä laskevaan Myllyojan molemmille puolille. Asuinalueen on tarkoitus tuottaa vapaita tontteja Rovaniemen kaupungin asukkaille, omakoti- tai rivitalorakentamista varten. Pöykkölän kaavaselvityksen pohjalta aloitettiin kunnallistekniikan suunnittelu. Alueelle tehtiin myös luontoselvitys. Alue ympäristöineen oli luonnontilassa, osittain viljelykäytössä olevaa maa- ja metsätalousaluetta. Maalajit olivat koekuoppien perusteella multa, silttimoreeni ja laiha savi. (Leppänen 2010.)

Pöykkölän voimassa olevan asemakaavan ja Katrinpolun alueen yleiskaavan mukaiset alueet ovat rakentuneet voimassa olevien kaavojen mukaan. Katrinpolun länsireunassa on voimassa olevan yleiskaavan mukaisesti pientaloalue, muutoin alue on ollut rakentamatonta Reissumiehentien eteläpuolella. Alueelle on kaksi rivitalojen ja muiden kytkettyjen asuinrakennusten kortteli- aluetta, kolme asuinpientalojen korttelialuetta ja 35 erillispientalojen kortteli- aluetta, yhteensä 177, joista 171 uutta tonttia. Pöykkölän asemakaava – alueen rakentamiseen kuului Myllyojan kalakannan selvitys ELY – keskukselta. Alueelle sijoitettiin kaksi jäteveden pumppaamoja. Ensimmäisen vaiheen tontit tulivat haettaviksi toukokuussa 2011. Koko alueella olevien AO-tonttien keskimääräinen pinta-ala on 1147 m² ja rakennusoikeus 287 k-m². Tontille saa sijoittaa yhden asuinrakennuksen, jossa saa olla enintään kaksi asuntoa ja tonttien kerros-luku on I tai II(½). AP-tonttien kerros-luku on II tai II(½). Tonttien keskimääräinen pinta-ala on 2334 k-m² ja tonteilla on yhteensä rakennusoikeutta 3501 km². Pöykkölän asuinalue tulee jatkumaan myös tulevaisuudessa etelään päin. Asemakaava alueen laajennuksella on tarkoitus laajentaa Pöykkölän alueen yhdyskuntarakennetta ja asuinpientaloaluetta etelään kaupungin ostamille alueille maakuntakaavan, yleiskaavan ja alueiden käytön strategian mukaisesti. Asemakaava-alueen laajentamisella turvataan kaupungin pientalotonttitarjontaa. (Leppänen 2010; Rovaniemi 2012.)

Pöykkölän alueen viimeisin rakennusvaihe aloitettiin syksyllä 2011, jonka tulisi käsittää toisen ja kolmannen vaiheen rakentamiset. Tammikuussa 2012 aloitettiin kolmannen eli viimeisen rakennusvaiheen työt. Tämä viimeinen vaihe tulisi rakennuttaa 3D-työkoneohjusta hyödyntäen. Yhdyskuntateknisten suunnitelmien mukaiset maaleikkaukset ja rakennekerrokset sekä putkilinjat, kaivot ja rajapyykit muunnetaan koneohjausyhteensopiviksi 3D-pinnoiksi ja 3D-putkilinjoiksi ja siirretään työkoneille mobiili-internet yhteyden välityksellä. Kolmannen vaiheen rakennustyöt kestävät viisi kuukautta, ja tonttien tulisi olla luovutettavissa toukokuun lopussa 2012. Erillispientalotontteja valmistuu 59 kappaletta. (Leppänen 2010; Rovaniemi 2012; Mitta Oy 2012.)

Asuinalueen laajuuden vuoksi tämän opinnäytetyön osalta ei voi tutkia kokonaisvaltaisesti vertailua koko alueen rakentamiseen. Työkohteessa tutkittiin Haravakatu-korttelin ja siihen kuuluvan kevyenliikenteenväylän rakentamista, jotka yhdistyvät vuotta aikaisemmin rakennettuun asuinalueeseen. Vertailu tehdään siis aikaisemman vaiheen katualueisiin, ja pyritään selvittämään koneohjauksen kannattavuus. Yleisesti Harakadun alue ei eroa suuresti jo rakennuttuihin katuihin. Työnsuoritus päätettiin rajata yhteen katualueeseen ja kustannuskulut ajettiin järjestelmässä erillisesti. Kappaleessa Kustannustehokkuus ja laatu on käsitelty laajemmin määrityksiä ja odotuksia työkoneohjauksen etujen puolesta. Kustannusvertailussa suurin vertailu tehdään kadunrakennuksen osalta €/katuneliömetri ja vesihuollon osalta €/kanavametri.



Kuvio 10. Yleiskartan kuva Haravakadun tonteista (Rovaniemi 2010.)

4.2 Maastomallinnusprosessi ja formaatit

Koneohjaukseen sopivan suunnitelma-aineiston tuottaminen on prosessi, joka alkaa maastomallin tuottamisesta työkoneelle sopivaksi suunnitelma aineistoksi. Tietokoneavusteisessa tiesuunnittelussa tarvitaan kolmiulotteinen maastomalli, jota käytetään vaaka- ja pystygeometrian suunnittelussa, mallintamisessa ja tilavuuslaskennassa. Maastomallin toteuttamiseen voidaan käyttää nykypäivänä yleistynyttä ilmalaserkeilausta, joka voidaan suorittaa esimerkiksi helikopterista. Suurten alueiden mallinnuksen mittausmenetelmäksi soveltuu usein parhaiten ilmasta tehty laserkeilaus, joka on viime vuosina kehittynyt merkittävästi. Laserkeilauksen avulla tuloksena saadaan muun muassa maanpinta, rakennukset ja puut yksinkertaisena 3D-mallina. Toinen tapa on suorittaa maastomallinnus tarkalla GPS-mittauksella tai takymetrillä, kuten Rovaniemen kaupungin hankkeen osalla toimittiin. Pienien rakennuskohteiden osalta, tämä menetelmä on varsin yleinen. (Heikkilä-Jaakkola 2004, 14; Kilpeläinen ym. 2004, 36.)



Kuvio 11. Automatisoidun tierakennusprosessin vaiheet. (Kilpeläinen ym 2004.)

Suunnittelu aloitetaan maastotietojen hankinnalla, koska oikeat ja ajan tasalla olevat maastotiedot ovat edellytyksenä hyvän suunnitelman tekemiselle. Maastomittauksista runkomittaus luo suunnittelulle perustan, koska sen avulla luodaan työalueelle koordinaatisto ja sidotaan se valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään. Koordinaatisto on aina kolmiulotteinen eli kaikki pisteet sisältävät myös korkeusjärjestelmän mukaisen korkeustiedon. Runkomittauksen lisäksi tarvitaan myös pohjakartta, joka toimii suunnitelman esityspohjana. (Kilpeläinen ym. 2004, 36.)

Pöykkölän alueella tehtiin ennen rakennusvaihetta maatulkaamista ja kaivettiin eri koekuoppia maalajien selventämiseksi. Maatulkaamisella voidaan myös paikantaa jo olemassa olevien vanhojen rakennusosien kuten putkin ja sähkökaapeleiden sijainnit ja syvyudet. Se on eräänlainen mittausmenetelmä jolla voidaan tehdä havaintoja, löytää ja tutkia pinnanalaisia materiaaleja.

Maatutkausmittauksessa mitataan maaperään lähetettyjen radioaaltojen heijastumista takaisin. Mittausmenetelmä tehdään hitaasti maanpinnalla liikuteltavalla antennilla, joka lähettää radioaaltoja ja mittaa niiden kulkuaikaa. Näin saadaan tieto pohjamaan laadusta tarvittaessa jopa kymmeneen metriin saakka. Lisäksi voidaan saada tietoa jo olemassa olevasta tien tai katualueiden kunnosta ja pohjan paksuuksista. (Kilpeläinen ym. 2004, 38.)

Koneohjauksessa suuri työ tehdään eri dokumentoinnin ja formaattien muu-
tostöiden osalta sopivaksi suunnitelma aineistoksi, ja aineisto muutokset voi-
vat olla varsin aikaa vieviä työsuorituksia. Automaattisessa koneen työsuori-
tuksen dokumentoinnissa on haasteena mitata reaaliaikaisesti ohjausjärjes-
telmän omilla antureilla järjestelmän toimintaa ja saavutettavaa työn laatua.
Formaattimuutokset mahdollistavat yhteensopivuuden koneohjausjärjestel-
mälle. Tietokoneavusteisesti suunnitellut tiemallit tallennetaan digitaaliseen
muotoon. Mallien varastointiin ja siirtämiseen tarvitaan tallennusformaatti,
jolla kuvattu geometria suunnittelutieto voidaan varastoida. Suunnittelijoiden
käyttämä maasto- ja karttaformaateista yleisin on Autodeskin kehittämä ja
ohjelmistoissaan käyttävä .DWG-formaatti. Sen jälkeen seuraavaksi ylei-
semmät ovat .DXF ja .DGN-formaatti sekä erilaiset kuvatiedostot. Suomessa
muutamit suunnittelussa yleisimmin käytössä olevat formaatit ovat saaneet
niin sanotun standardinomaisen aseman. Tielaitoksen käyttämät ja kehittä-
mät tiedostomuodot kuvaavat maastomallin, tien vaaka- ja pystygeometrian
ja pohjantutkimuksen. Uudistusten myötä tiedostomuotoja on muutettu Tek-
lan Xroadia vastaaviksi. DXF on Autodeskin käyttämä siirtoformaattiksi tarkoi-
tettu ascii-muotoinen tiedosto, jonka käyttöä vaikeuttavat siihen jatkuvasti
tehtävät muutokset verkkopäivitysten yhteydessä. DWG on Autodeskin käyt-
tämä binäärimuotoinen tallennusformaatti. (Kilpeläinen ym. 2004, 39-40.)

XML-kuvauskieli mahdollistaa yhdistää eri valmistajien järjestelmiä avoimelle
tiedonsiirtopinnalle, jolloin samalla työmaalla operoivat eri valmistajien koneet
voivat käyttää samoja työsuunnitelmia samassa formaatissa. LandXML-
formaatti on ehkä tunnetuin, joka kokoaa yhteen maailman suurimpien maan-
rakennusalan toimijat tavoitteena luoda avoin XML-pohjainen siirtoformaatti
suunnittelu- ja mittalaittejärjestelmien välille. LandXML:n tarkoituksena on ku-
vata koko suunnitteluketju alkumittauksista CAD-suunnitteluun ja aineiston

jälkikäsitteilyyn saakka. 3D-geometria voidaan kuvata linjoilla ja poikkileikkauksilla tai kolmioverkoilla. Land XML-kieli on osoittautunut soveltuvan erittäin hyvin avoimen tiedonsiirtojärjestelmän kehittämiseen. Laajennuttavuus onnistuu myöhemmin ilman yhteensopivuusongelmia eri järjestelmäverisoiden kesken. XML-muotoisen tiedonsiirron yksi negatiivinen puoli on tiedostokoon kasvaminen, mutta tietotekniikan kehittyminen on mahdollistaneet suuremmat tiedostokoot ja suuren tallennustilat. Syynä tiedostokoon kasvu XML:n myötä on merkkipohjainen tiedonsiirto binäärimuodon sijaan. XML sisältää paljon niin sanottuja turhia merkkejä, jotka kuvaavat dokumentin rakennetta. (Kilpeläinen ym. 2004, 42-46; VTT 2010.)

4.3 Odotettavat ongelmat

Jokaiseen projektiin liittyy omat riskinsä ja ongelmat, joihin tulee pystyä varautumaan ja torjumaan ne. Maanrakennustyöt ja varsinkin asuinalueen rakentaminen on varsin suuri monivaiheinen prosessi. On luonnollista että josakin vaiheessa rakentamista kohdataan ongelmia, jotka hidastavat hetkellisesti projektin etenemistä. Rovaniemen kaupungin koneohjaushanke sisältää oman riskiryhmänsä ja mahdollisiin ongelmiin pyrittiin varautumaan jo suoritavatyön lähtövaiheessa. Uuden toimintamallin käyttöönotto käsittää myös uudet ongelmat, niin myös koneohjauksen osalta. Lähtöpalaverissa puitiin myös järjestelmän luotettavuutta ja haluttiin samalla kyseenalaistaan toimivuutta. Koska tekniikka oli uutta, korostettiin etätuen käyttömahdollisuutta. Etätuki on nopea ja vaivaton tapa ongelmanratkaisuun. Työkoneenkuljettajat voivat esimerkiksi soittaa suoraan vikatilanteessa järjestelmän ylläpidolle, tai tarvittaessa koneohjausjärjestelmä otetaan etähallintaan erillisellä tietokoneella.

Laitteiston toimintavarmuus oli keskeisin asia projektin alkuvaiheessa. Kun koneohjausjärjestelmä otetaan ensikertaan käyttöön, on lähes varmaa että laitteisto ei toimi halutulla tavalla. On odotettavissa, että järjestelmän sijaintitarkkuus voi olla useita metrejä väärässä. Nämä ongelmat ovat yleensä työkoneen ja tukiaseman väliset yhteysongelmat ja korjaussignaalin laatu. Mittausten ja mittaustarkkuuden kelpoisuus koneohjaushankkeissa on määritettävä, koska nykyinen ohjekäytäntö ei sisällä määrittelyä mittauksia varten. Satelliittipaikannukseen pohjautuva koneohjaus myös käsittää samat riskit

kuin tavallinen GPS-mittaus. Mahdolliset katvealueet ja metsäinen maasto voi häiritä toimivuutta, siksi erillinen tukiasema pyritään tuomaan mahdollisimman lähelle rakennettavaa aluetta. (Ilmonen 2012.)

Yhtenä suurimmista ongelmista oli jo kappaleessa 4.2 mainitut formaattimuutokset. Varsinkin eri valmistajien CAD-järjestelmien välillä on tiedostettu olevan yhteensopivuusongelmia, puhumattakaan tilanteesta, jossa samaan ketjuun liitetään koneohjausjärjestelmät. XML-formaatti on ollut tärkeä sen käytettävyyden osalta. Lähtötietojen ja suunnitelma aineistojen muutostyöt tämän projektin osalta olivat aikaa vieviä, ja ne aloitettiin hyvissä ajoin, ennen kuin projekti käynnistyi. Kaikki muutokset eivät olleet käytettävissä aloitusvaiheessa, mutta projektin edetessä tiedostot tullaan siirtämään kaikille työkonneille. Yleisesti myös tiedonsiirrossa on ongelmia muilla suurimmilla työmaille, mikä johtuu päivitetystä suunnitelmista.

Osana projektin ongelmia olivat niin sanotut lähtötilanteet ja tilanteet joihin ei voida reagoida. Yhtenä ongelmana voidaan puhua Pohjois-Suomen säätiloista, jotka eivät suoraan vaikuta koneohjauksen toimivuuteen. Onkin odotettavaa, että puolen vuoden projektin aikana juuri sydäntalven aikana tulee olemaan pakkaseroja, jotka hidastavat rakentamista. Koneohjausjärjestelmän antureiden toimivuus kestää suuria lämpötilaeroja, mutta kunnallistekniikan rakentaminen, esimerkiksi vesijohtojen sähköhitsaustyöt asettavat pakkasrajoituksia. Myös Pöykkölän alueen maaperä oli todettu jo pohjantutkimuksissa ja edellisten rakennusvaiheiden perusteella haastavaksi rakennuskohteeksi.

Hankkeen aikana ilmeni myös systemaattinen korkeusvirhe, joka oli neljä senttimetriä jokaisella työkonneella. Virheen paikantamiseen käytettiin avuksi myös erillistä Topconin GPS-mittalaitetta ja todettiin, että poikkeama on yhtä suuri kuin työkonneilla. Aluksi luultiin, että virhe johtuu uudesta muunnoksesta työkonneille, mutta testi tehtiin myös aikaisemmin käytössä jo olleelle KKJ3:lle. Työmaalla suunniteltiin erilaisia ratkaisuja ongelman ratkaisemiseksi. Tukiaseman paikka mitattiin uudelleen mutta todettiin että tukiasema ei ole liikunut sijainniltaan. Tämä ongelma lopulta poistettiin kalibroimalla virhe työkonneista pois. Kokonaisuudessa hankkeessa ilmeni myös pieniä erillisiä ongelmia, kuten komponenttien vaihtoja ja pieniä ohjelmisto päivityksiä. Nämä

toimenpiteet ovat kuitenkin normaaleja käytäntöjä ja työkoneohjaus käsittää samoja pieniä käyttöongelmia, kuin muu elektroninen laite.

4.4 Kustannustehokkuuden tavoittelu ja laatu

Työkoneohjauksen kustannustehokkuus on sidottu moneen eri sektoriin ja osatekijöihin. Järjestelmiä myydään eri toimittajien kautta korostaen säästöjä ja uutta työskentelytapaa maanrakennustyömaalla. Kustannustehokkuuteen on myös sidottu laadun määritelmä, jonka tulisi parantua koneohjatulla maanrakennustyömaalla. Mallinnuksella ja koneohjausmallin hyödyntämisellä saavutetaan parempi laatu ja tarkkuus suunnittelussa ja rakentamisessa. Mahdolliset muutokset tai kustannusarvion ylitykset voidaan ennakoida suunnitteluvaiheessa, jossa asetetaan suurin osa hankkeen rakennuskustannuksista. Koneohjauksen kustannustehokkuutta on tutkittu jo maailmalla, kuten edellä olevan kappaleessa 3.1 mainittiin. Työkoneiden kapasiteetin tulisi parantua ja työn sujumuuden edetä. Rovaniemen kaupungin osalta lähdettäessä hankkeeseen oli halu pyrkiä kustannustehokkaaseen työskentelyyn ja samalla uskoa järjestelmien pitkäaikaiseen tulevaisuuteen.

Kustannustehokkuuden odotukset ovat moniosaiset, ja niiden tavoitteena olisi saavuttaa taloudellista, ajallista ja materiaalista hyötyä. Suurimmat kulut maanrakennustyömailla tulee suurista maamassojen siirroista ja täytöistä. Koneohjauksen suurin etu olisi välttää nämä niin sanotut ryöstötäytöt, jolloin tapahtuu turhia materiaalikustannuksia. Yleisin syy ryöstötäytöille on ylikäivetty maaleikkaukset, jotka johtuvat silmämääräisestä konekaivamisesta. Mittamiehen saatavuus työmaalle voi vaihdella, jolloin käytetään ajokappeja ja sihtilappuja jonka avulla saadaan selville leikkaukset ja täytöt. Koneohjausjärjestelmä näyttää leikkaukset millimetrien tarkkuudella, ja kaivukoneella päästäänkin senttimetrien tarkkuuteen. Kun leikkaukset ja massat toteutuvat rakennussuunnitelman mukaan, tapahtuu säästöjä.

Ajallinen säästö on myös merkittävä osa, koska se palvelee kaikkia osapuolia työmaalla. Kun mittaustietoa on saatavilla kokoajan, työmaalla ei tapahdu minkäänlaista pysähdysvaihetta johtuen suunnitelmatietojen puutteesta. Rakentaminen etenee kokoajan, ja työkone voi suorittaa tarvittaessa muita töitä, jotka eivät ole kiireisimpiä kohteita. Tilanne voi olla esimerkiksi jonkin raken-

nustarvikkeen tai materiaalin puute, joka estää kaivukoneen senhetkisen työn. Kuljettaja voi tarvittaessa tehdä luiskauksia ja viimeistelytyötä, jonka avuksi ennen on tarvittu merkintään mittamies. Koneohjausjärjestelmän avulla rakentamisessa on luovuttu siis paaluista ja korkolapuista, joista vastuussa on mittamies. Myös polttoainesäästöihin on tähdätty järjestelmän käyttöön otolla. Työkoneiden tarpeeton ja hyödytön työskentely jää pois, joka samalla korreloi polttoaineen kulutukseen työkoneessa. Taloudellisuus onkin varsin näyttävässä asemassa, ja myös tätä kautta saavutettavissa. Työturvallisuuden merkitystä on lisäksi tutkittu koneohjauksen osalta. Automaatiojärjestelmä helpottaa kuljettajan työtä, jolloin hänelle jää enemmän aikaa ympäristön havainnoimiseen. Turhat onnettomuudet ja läheltä piti - tilanteet vähenevät, jolloin työntekijät säilyvät terveinä ja työkykyisinä. (Ilmonen 2012.)

Kustannusten ohjauksessa työmaan kannalta oleellista olisi myös, että työkokonaisuuksien toteutuneita kustannuksia voidaan määrittää luotettavammin ja niitä voidaan tulevaisuudessa verrata tavoitebudjettiin. Työkoneiden ja materiaali siirtojen ohjausjärjestelmien hyödyntäminen koko prosessissa mahdollistaa työ- ja materiaalmäärien toteutuman seurannan miltei reaaliajassa. (Heikkilä-Jaakkola 2004, 58.)



Kuvio 12. Pöykkölän asuinalueen yleiskuva.

Automaation kokonaistoimintaprosessissa työn toteutuksen jälkeen on todettava toteutuman eli tuotteiden laatutason riittävyys suhteessa niille asetettuihin laatuvaatimuksiin eli toleransseihin. Laaduntarkastus tehdään myös työn luovutusta varten. Laadun tarkastukseen sisältyy valmiiden rakenne- ja tuoteosien mittaus, varusteiden ja niiden toimivuuden toteaminen, vertailut suunnitelmamalleihin, vertaukset toleransseihin, tulosten tallennus työmaan tietokantaan sekä vienti tietorekistereihin. Työnaikaisen laadunvarmistuksen tehtävänä on ennaltaehkäistä virheiden syntyminen. Työmaatoiminnot tulisi järjestää siten, että koko ajan kyetään varmistumaan tavoiteltavan laadun saavuttaminen. Mikäli työkoneissa käytetään automatisoitua ohjausjärjestelmiä, tulisi niiden ohjaustarkkuutta kyetä seuraamaan ja kontrolloimaan. (Heikkilä-Jaakkola 2004, 58; Kilpeläinen ym. 2004, 63.)

Rovaniemen kaupungilla on käytössä eri laskentaohjelmat jonka avulla kirjaetaan rakennettavien kohteiden materiaalikulut ja muut tarvittavat kustannukset. Näistä muodostetaan raportit, joiden avulla voidaan todeta kokonaiskustannukset ja eritellä kaikki kulut. Pöykkölän kolmannen vaiheen rakentamisen alussa määriteltiin tämän insinööriyön vuoksi Haravakatu itsenäisenä kohteena, eli vain kyseiselle kadulle menevät kustannukset litteroitiin erikseen. Projektin keston vuoksi, ei ollut mahdollista perehtyä kuin yhteen katualueeseen. Vertailun tuloksia varten käytettiin Proest 2000 kustannuslaskenta ohjelmaa, josta voitiin havaita toteutuneet kustannukset. Vertailupohjaksi valittiin Pöykkölän ensimmäinen alue, koska sen osalta kokonaiskustannukset olivat parhaiten nähtävissä järjestelmässä.

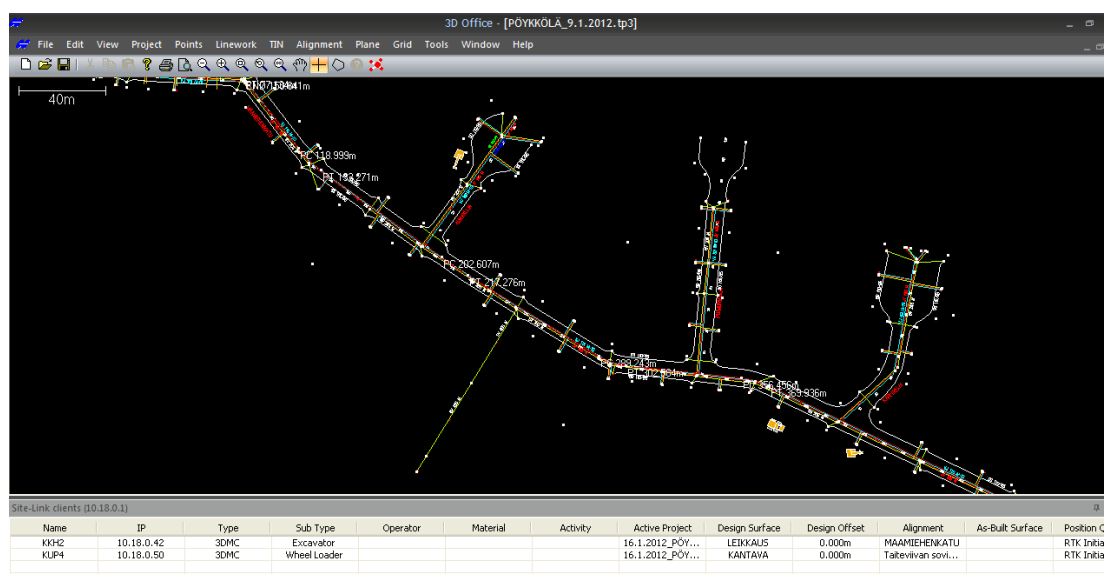
4.5 Site Link – seurantaohjelma

Projektin aikana otettiin myös käyttöön Topconin tuottama Site Link - seurantaohjelma. Site Link on eräänlainen realikainen seurantaohjelma, jonka avulla voidaan seurata etäältä työkoneita ja työmaantapahtumia. Järjestelmällä voidaan ottaa etäyhteys haluttuun työkoneeseen mobiili-internetyhteyden välityksellä. Site Link hyödyntää siis Topconin 3D-Office-ohjelmaa näyttämällä reaaliaikaisen tilanteen työmaalta. Sen tehtävä on tuottaa tietoa työkoneille ja tallennettu data voidaan analysoida myöhemmin, jonka avulla voidaan laskea ja parantaa tuotettavuutta sekä vähentää kustannuksia. Järjestelmän asen-

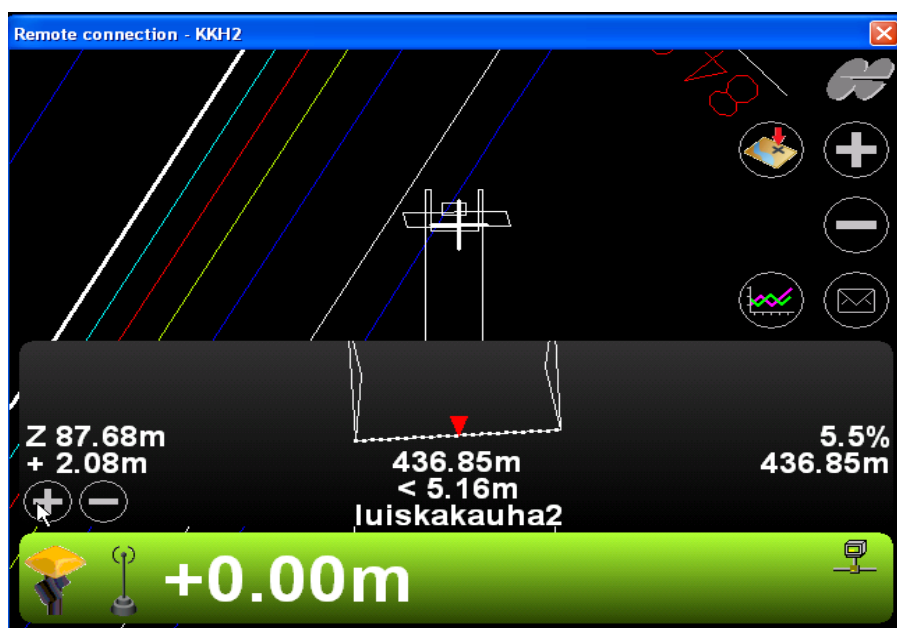
nus on yksinkertainen toimenpide ja se täytyy asentaa jokaiselle työkoneelle manuaalisesti. (Topcon 2012.)

Site Linkin perusominaisuuksia ovat tekstiviestien vastaanotto ja lähettäminen, tiedonsiirto, seuranta mahdollisuus, mahdolliset hälytysmerkinnät toimivuudesta, RTK korjauksen jakaminen sekä yhteys etätukeen. Työkoneiden ”hallinnalla” voidaan nähdä sama reaaliaikainen näkymä, joka työkoneen kuljettajalla on kyseisellä hetkellä. Samalla voidaan myös käyttää työkoneen valikkoja, ja opastaa kuljettaja tarvittaessa. Järjestelmä on monipuolinen työkalu kaikkeen tiedonsiirtoon. (Topcon 2012.)

Mittausaineistojen, mahdolliset suunnitelmat muutokset ja niihin liittyvät tiedostot voidaan helposti päivittää työkoneille. Site Link helpottaa tiedonsiirtoa erittäin suuresti ja vähentää turhaa työtä. Päivitetyn suunnitelman siirto työmaalle on erittäin vaivatonta. Aineiston käsittelijä lähettää uudet suunnitelmat työkoneelle, ja kuljettaja kuittaa vastaanotetut tiedostot. Ohjelman avulla voidaan nähdä kaikki online-tilassa olevat työkoneet ja mahdollinen ongelma korjataan järjestelmän välityksellä, ilman että käyttäjän tarvitsee saapua työmaalle. Tällä ominaisuudella voidaan estää tuntien tai jopa päivien seisokit työmailla. Topcon on testannut Site Link-järjestelmää erikokoisilla työmailla, ja sen toimivuus on ollut hyvä. (Topcon 2012.)



Kuvio 13. Näkymä Topconin Site Link ohjelmasta.



Kuvio 14. Site Linkin reaaliaikainen näkymä koneenkuljettajalle.

5 TULOKSET

5.1 Kustannustehokkuuden toteutuminen

Projektin ensimmäiset tulokset oli nähtävissä jo valmistuneen Harakadun osalta. Kokonaiskustannukset ajettiin ProControl, jonka avulla pystyttiin toteamaan, kuinka hanke on edennyt. Kustannusten niin sanottu kaatuminen järjestelmään kesti noin kuukauden Haravakadun valmistumisen jälkeen, ja lopulta voitiin tehdä selvät laskennat kustannuksista. Kustannukset ovat nähtävissä jyvitysraporteissa, jotka voidaan tulostaa ProControl-järjestelmästä. Jyvitysraporteista voidaan siis nähdä esimerkiksi maaleikkauksien määrät, rakennekerrosten määrät, vesihuollon putkimetrit ja työmaan yleiskuluja. Järjestelmästä ei ollut mahdollista tulostaa kaikkia kustannuksia.

Tulosten selvittämisvaiheessa vertailu tehdään syksyllä 2011 valmistuneeseen toisen vaiheen rakennusalueeseen. Työmaat ovat lähdessä identtiset ja vertailu tehdään vesihuollonkanavametrin, sekä rakennetun katuneliön osalta. Kustannuksissa on otettu huomioon koneohjauksen tuomat yleiskulut. Lasketut kustannukset käsittävät rakentamistavan ilman koneohjausta. Laskettu hinta on yksikköhinta yhtä metriä kohden. Vertailu tehdään Haravakadulla myös vesihuollon kanavametrin osalta, ja rakennetun katuneliöiden osalta. Tulokset ovat nähtävissä taulukoinnista. Kustannusvertailun tulokset on laskettu prosenteissa, jotka on saatu euromääräisistä kustannuksista.

Taulukko 1. Kustannukset vesihuollon kanavametrin osalta

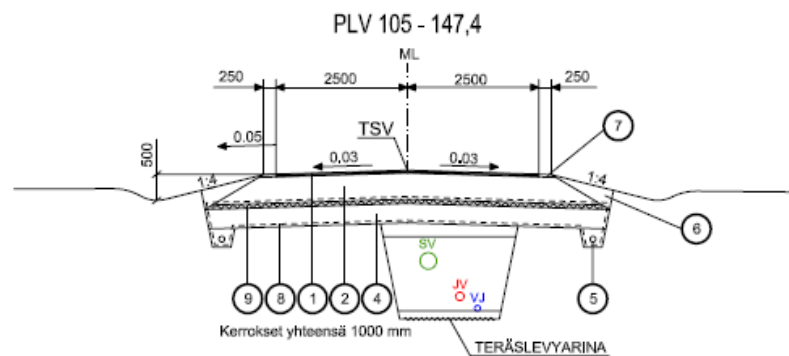
Väylä/Alue Kustannukset	Laskettu vesihuollon kanavametrin lasket- tu	Toteutuneet kustannukset	Erotus
x/€	100 %	93%	-7%

Vesihuollon osalta tarkasteltiin niin sanotun vesihuollon kanavan rakentamista. Putkikaivantoon asennetaan vesijohto, jäte- ja sadevesiviemärit. Putkikaivanto on siis matalammalla pinnalla kuin tien leikkauspinta. Putkien kustannuksien lisäksi hinnat perustavat kaivuu ja täyttötyöhön. Koneohjauksella saavutettiin säästöä laskettuihin kustannuksiin 7%:ia.

Taulukko 2. Rakennetun katuneliön kustannukset Haravakadulta

Väylä/Alue Kustannukset	Laskettu rakennetun katuneliön arvo	Toteutuneet kustannukset	Erotus
x/€	100 %	83,3%	-16,7 %

Haravakadun ja siihen kuuluvan kevyenliikenteenväylän rakennettu pinta-ala on 1666m². Yhden rakennetun neliöhinta saadaan siis Haravakadun kokonaiskustannusten määrä jaettuna rakennetuilla neliöillä. Tästä saatu yksiköneliöhinta on suoraan verrannollinen laskettuun neliöhintaan. Haravakadun osalta voidaan siis todeta että yhden katuneliön hinta on halvempi kuin laskettu määrä. Kyseessä on merkittävä määrä, sillä noin 16,7%:in säästö on erittäin huomattava. Tämä tulos näyttää projektin vielä ollessa kesken erittäin positiiviselta lukemalta ajatellen lopullisia kustannusten laskemista.



N:o	NIMI	MATERIAALI	PAKSUUS (mm)	E-MODULI (MPa)	HUOM.
1	KULUTUSKERROS	AB 16/120	50		
2	KANTAVA+JAKAVA KERROS	Murske 0...56	500	280	KIILAUS, murske 0...20
3	SUODATINKERROS	Hk	950	50	
4	SUODATINKERROS	Hk	370	50	
5	SALAOJA	MUOVI	110/95		TUPLASEINÄMÄPUTKI
6	LUISKATÄYTTÖ				LEIKKAUSMASSOISTA, Sa tai SI
7	PIENNARTÄYTE	Murske 0...8			
8	SUODATINKANGAS	LUOKKA N2			PLV 3,5 - 300
9	LÄMMÖNERISTE	SOLUMUOVI	80		PURISTUSLUJUUS 400 kPa

Kuvio 15. Poikkileikkauspiirros vesihuollon osalta

Taulukko 3. Toteutuneet prosentuaaliset säästöt yhtä katuneliötä kohden

Haravakadun toteutunut säästö	Pöykkölän toisen vaiheen toteutuneet kustannukset verrattuna Haravakadun toteutuneisiin
-16,70 %	-13,90 %

Suurin tulos saadaan myös vertailusta Pöykkölän toisen rakennusvaiheen osalta. Tämä vertailu ei koske yksittäistä katua, vaan koko toisen vaiheen rakennettuja katuja. Toteutuneiden kustannusten osalta voidaan nähdä, että havaittuja säästöjä on tapahtunut myös syksyllä aikaisemmin rakennettuun asuinalueeseen. Vesihuollonosalta ei voida tehdä katukohtaista vertailua, koska vesihuolto käsittää koko alueen, eikä vain erillistä katua jota tässä projektissa tutkittiin. Projektin loppuvaiheessa nähdään kokonaiskustannukset vesihuollonosalta, jotka ovat vertailukelpoisia keskenään. Säästöt ovat nähtävissä hyvin toteutuneissa kustannuksissa. Lukemista voidaan myös todeta kaivukoneelle asetetun työtehokkuuden kasvaminen. Tutkimuksen osalta oli hyvä että, saadut tulokset olivat positiivisia ja säästöjä todettiin.

Tulokset ovat erittäin merkittäviä. Nähtävissä olevat prosentuaaliset lukemat todistavat että koneohjausjärjestelmällä voidaan saavuttaa suuri hyöty maamassojen hallinnan osalta. Ryöstötäyttöiltä vältytään, mikä on yksi merkittävä etuja kustannussäästämisen kannalta. Lähes 14%:ia pienempi neliöhinta vaikuttaa jo useilla tuhansilla euroilla kustannusten pienenemiseen. Rakennettavat kohteet eivät olleet täysin identtiset, mutta kokonaisuudessaan vertailukelpoiset. Lopulliset tulokset saadaan vasta projektin päätyttyä, jolloin voidaan suorittaa kokonaisvaltainen vertailu. Yksittäisen kadunrakentamisesta saatavat tulokset kuitenkin osittavat, että odotettavissa on että, koneohjauksella voidaan toteuttaa kustannustehokasta infrarakentamista.

5.2 Kysely työkoneiden kuljettajille

Projektin aikana pidettiin välipalaveri 27.3.2012, jonne oli kutsuttu kaikki hankkeeseen mukana olleet osapuolet. Työkoneen kuljettajat eivät kuitenkaan voineet osallistua palaveriin, koska työmaan aikataulu on kiireinen ja turhia keskeytyksiä tulisi välttää. Kuljettajille suunniteltiin kyselylomake, jonka avulla saataisiin mielipiteet järjestelmästä. Kuljettajat saivat vastata omatun-

tonsa mukaan ja kertoa omat mielipiteensä järjestelmään. Koska koneenkuljettajan rooli on keskeinen järjestelmän käytössä, onkin tärkeä saada palaute itse käyttäjiltä. Kuljettajat vastasivat kyselyihin hyvissä ajoin ennen palaveria ja vastauksia analysoitiin valmiiksi. Alla on taulukoitu vastaukset kysymyksiin, ja muodostettu tilastot.

Kysymykset haluttiin pelkistää ja haluttiin saada yleinen mielipide ja toteamus järjestelmästä. Todettiin että viidellä kysymyksellä saadaan haluttu tarkkuus jonka avulla voidaan tehdä johtopäätökset kuljettajan näkökulmasta. Vastauksina oli neljä työkoneen kuljettajaa, eli vastaukset saatiin 100 %:isesti.

1. Oletko ollut tyytyväinen koneohjausjärjestelmään?
2. Onko koneohjausjärjestelmä nopeuttanut tai tehostanut työskentelyäsi
3. Onko työn laatu parantunut järjestelmän avulla?
4. Oletko kohdannut ongelmia järjestelmän käytössä?
5. Mikäli olet tarvinnut etätukea työmaalla, onko etätuen toimivuus ollut riittävä?

Taulukoinnissa on käytetty Likert-asteikkoa. Lisäksi vastaajat saivat vapaasti kommentoida järjestelmän toimivuutta.

Taulukko 4. Tulokset kyselystä

Kysymys nro	Täysin eri mieltä	Jokseenkin eri mieltä	Ei osaa sanoa	Jokseenkin samaa mieltä	Täysin samaa mieltä
1					4
2				1	3
3					4
4		2		2	
5					4

Kyselyn perusteella kaikki työkoneiden kuljettajat olivat varsin tyytyväisiä koneohjauksen toimivuuteen. Työskentelyn tehokkuus on kasvanut työn ohessa ja samalla työn laatu on ollut tarkempaa ja parempaa. Kuljettajat korostivat koneohjauksen toimivuutta leikkaus- ja pengerrystöissä. Järjestelmä ei heti projektin alussa antanut oikeaa kuvaa itsestään, mutta työmaan edetessä ja massoja liikuteltaessa sen hyöty korostui. Ongelmia ei ole juurikaan ollut itse

järjestelmässä, mutta kaikki kuljettajat nostivat esille tukiaseman toimivuuden. Tukiasemaa on täytynyt vähän väliä käynnistää uudelleen, ennen kuin yhteys on toiminut työkoneiden välillä. Tämä johtui huonosta 3G-verkon yhteydestä, joka aiheuttaa tukiaseman ”kaatumisen.” Tukiasema ei osaa luontevasti elpyä yhteyden katkaisemisesta, joten varmin toimintapa on käynnistää tukiasema uudelleen. Korjausviestin vastaanottamisessa ilmeni myös ongelmia, mutta korjaukset tehtiin projektin aikana. Kokonaisuudessaan etätuki on ollut hyvin tavoitettavissa, ja kaikki tarpeelliset ongelmat on saatu ratkaistua puhelimen välityksellä. Etätuen rooli korostui erityisesti projektin aloittamisessa, sillä järjestelmä oli kuljettajille uuden oppimista. Vastaaajien motivaatio oli hyvällä tasolla.

Yleisesti järjestelmä on saanut kehuja työkoneiden kuljettajilta koko projektin ajan. Alkuvaiheiden ongelmien ylipääseminen osoitti, että kuljettajat todella hyötyvät järjestelmän käytöstä. Käytännönkokemus osoittautui hyväksi menetelmäksi, joka antoi varmuutta käyttäjilleen. Kuljettajat myös olivat yhtä mieltä siitä, että tulevaisuudessa he ovat myös valmiita työskentelemään koneohjausjärjestelmällä.

5.3 Mittamiehen muuttuva toimenkuva

Työkoneohjauksen siirtyminen jo entistä pienemmille rakennuskohteille tulee yleistymään tulevaisuudessa suuresti. Työkoneautomaatio on jo muuttanut työskentelytapoja työmailla ja koskettaa rakennusprosessin kuuluvia osapuolia. Mittamiehen rooli on yksi keskeinen muuttuja koneohjatulla työmaalla. Työkoneohjaus on siirtänyt vastuuta enemmän koneenkuljettajalle, jonka tehtävänä on operoida kyseisen rakennussuunnitelman mukaisesti. Kuljettajan tulee ymmärtää suunnitelmakartat ja samalla käsittää mittaustekniikan perusteita. Yleisesti rakennustyömaalla on edelleen käytössä puukepit ja korkolaput, jotka mittamies on sitonut maastoon. Tällä menetelmällä voidaan suorittaa edelleen rakennustyöt vaaditulla tarkkuudella. Mikäli mittakeppejä on kaatunut rakentamisen yhteydessä, se voi hidastaa hetkellisesti rakentamista yleensä siihen saakka kun, mittamies suorittaa merkinnät uudestaan. Näkyvä koneohjatulla työmaalla on täysin erilainen kuin maastoon merkityllä kohteella. Työkoneohjauksen ansiosta maastoon merkintä poistuu lähes kokonaan ja mittakeppejä ei tarvita juuri ollenkaan. Kokonaan ei silti voida luopua

merkinnästä sillä kontrollipisteet ja tarkan toleranssin vaatimat kohteet tulee edelleen merkitä maastoon. Työmailla voi olla myös tilanteita joissa ei voida hyödyntää koneohjausta, jolloin mittamiehen tulee merkitä kohdetta mittakepeillä tai merkintämaalia käyttäen. Joka tapauksessa mittamiehen työ helpottuu huomattavasti merkinnän vähentymisen vuoksi.

Tarkistusmittausten eli tarkemittauksien tekeminen on edelleen mittamiehen vastuulla koneohjatulla työmaalla. Työkoneilla voidaan ottaa tarkemittauksia tuomalla kauha tai terä halutulle pinnalle, mutta kaikilla työmailla tätä ei vielä hyväksytä viralliseksi tarkkeeksi. Koska työkoneet ovat automaatiolaitteita, on virheiden mahdollisuus olemassa. Luotettavin tulos saadaan mittamiehen tekemällä erillisillä mittauksilla, joista voidaan saada toteutumatieta ja muut dokumentit. Myös työkoneiden kuljettajat eivät aina muista ottaa tarkkeita, joten sen perusteella ei voida antaa täysin oikeaa kuvausta työnlaadusta. Tarkemittaukset ovat siis eräänlaista laadunvalvontaa. Mittamiehen tehtävänä on ikään kuin suorittaa pistotarkastuksia työmaalla, seuratakseen tarkkuutta. Enimmäkseen tarkkeita otetaan kaivantojen pohjista ja leikkauksista. Työkoneiden kuljettajien tulisi myös suorittaa sama toimenpide, jonka avulla saataisiin myös lisättyä laadunvalvontaa ja nähdä toteutumatieta. Lisäksi työmaalta suoritetaan rakenteiden massojen laskennat. Mittamiehen suoritettava työ on muuttunut eräänlaiseen kontrollin asemaa, jonka avulla voidaan seurata koneohjausta etäältä. (Ilmonen 2012; Kulluvaara 2012.)

Aikaisemmin mainittu Site Link- seurantaohjelma on helpottanut mittamiehen työskentelyä, ja olisi tärkeää, että eri laitevalmistajien seurantaohjelman saatavuus olisi mahdollinen kaikille työmaille. Seurantaohjelman vuoksi turha liikkuminen työmaille on vähentynyt, sillä mittaushenkilö voi käsitellä aineistoa omalta työpisteeltään, joka voi olla satojen kilometrien päässä kohteesta. Mittamies voi hyvin seurata online-tilassa olevia työkoneita ja varmistua mitaustein oikeellisuudesta. Seurantaohjelman avulla voidaan tarkkailla esimerkiksi työkoneiden kalibroinnin tarkkuutta ja nähdä poikkeama-arvot. Työkoneet käyvät muutaman kerran viikon aikana tarkistamassa laitteiden korkeussijainnin kontrollipisteeltä ja tallentavat havainnot järjestelmään. Tämän jälkeen mittamies voi nähdä seurantaohjelmasta tallennetut pisteet ja todeta

laitteiden tarkkuuden. Tämä edellyttää myös toimivaa mobiili-internetyhteyttä, jotta tiedonsiirrot voidaan suorittaa jouhevasti. (Kulluvaara 2012.)

Mittamiesten uudet työtehtävät työllistävät edelleen lähes samoissa määrin kuin maastoon merkityllä työmaalla. Vaikka mittamiesten ei tarvitse olla pysyttämässä työmaalle satoja mittakeppejä, on silti paljon muuta työtä, joka pitää kiireisenä. Työkoneilta vastaanotettavat tiedostot ja niiden lähettäminen ovat päätoimiset työtehtävät. Yhtenä tärkeimpänä tehtävänä on mittamiehen yhteistyö työkoneiden kuljettajien kanssa. Mittaustyönjohtajan tulee valvoa, että mittautiedot on saatettu työkoneille oikein ja että kuljettajat ymmärtävät suunnitelmat. Ongelma tilanteessa mittamiehen tulee raportoida mahdollista ongelmista työnjohdon kanssa. Työkoneohjaus on jakanut vastuuta työkoneidenkuljettajille, minkä puolestaan tulisi parantaa omaa työmotivaatiota ja arvostusta tekemäänsä työtä kohtaan. Kuljettajan tulisi myös havaita mahdolliset virheet suunnitelmissa, ja reagoida niihin mahdollisimman aikaisin. Tarkemittaukset tulee myös suorittaa oikeista paikoista, jotta työmailta voidaan saada oikeaa toteutumatieta. (Kulluvaara 2012.)

Mittamiestä tai mittausalan asiantuntijaa tarvitaan siis edelleen työkoneohjauksella työmaalla. Työtehtäviä on siis yhä edelleen ja vanhat menetelmät on korvattu uusilla ratkaisuilla. Valvonta ja kontrollointi ovat keskeiset osat mittamiehen työskentelyssä yhdessä työkoneiden kanssa. Tarkemittausten rooli on yhä niin keskeinen, että sen korvaaminen muulla menetelmällä on tällä hetkellä mahdotonta. Toimiva työkoneohjausjärjestelmä on erittäin mieluinen tapa työskennellä myös mittamiehen näkökulmasta. (Kulluvaara 2012.)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokonaisvaltaisesti automatisoitu maanrakennustyömaa on tällä hetkellä utopistinen ajatus, mutta työkoneohjauksen kasvun ja kehityksen laadulle on suuret odotukset. On odotettavissa, että kehitys tulee kasvamaan entisestään laitepuolella ja erityisesti kolmiulotteiset järjestelmät tulevat yleistymään. Satelliittipaikannuksen yleistymisen on edesauttanut työkoneautomaation kehittymistä. Riittävän tarkkuutensa vuoksi juuri satelliittipaikannus on sopiva paikannuskeino maanrakennustyömaalle eli myös koneohjatulle työkoneelle.

Tulevaisuudessa tulisi kehittää koneohjauksen käyttöönottoa entisestä pienemmille rakennuskohteille. Erityisesti uudisrakentamisessa automaation hyödyntäminen tulee onnistumaan varsin hyvin kolmiulotteisesti. Saneerattavat kadut vesi- ja viemäriverkostoineen sekä kaukolämpöputkineen ovat hitaita ja vaativia saneerauskohteita joille, koneohjauksen hyödyntäminen ei mahdollisesti anna tarpeellista hyötyä. Tällä hetkellä suurin syy koneohjauksen käyttöönottoon vain suurimmilla maanrakennuskohteilla on järjestelmän hankkimisen kustannukset ja järjestelmän ylläpito. Pienemmillä työmailla mitämies edelleen suorittaa merkinnän mittakepeillä maastoon, mutta tulevaisuudessa työrooli tulee muuttumaan.

Tämän työn aikana edennyt hanke osoitti, että koneohjauksella saavutettavat hyödyt ovat nähtävissä jo työn alkuvaiheessa. Erillisenä osana tutkittu katualueen rakentaminen osoitti, että haastavissa olosuhteissa ja vaikealla maaperällä voidaan saavuttaa taloudellinen hyöty työkoneohjauksella. Lopulliset tulokset hankkeen osalta saadaan vasta projektin päätyttyä, mutta tämän erillisen tarkastelun osalta tulokset ovat hyviä ja vertailukelpoisia. Tulokset ovat myös riippuvaisia työkoneohjauksen jatkon kannalta Rovaniemen infrassa. Jos todetut säästöt ja edut saavutetaan koko projektin osalta, Rovaniemellä tullaan näkemään lisää koneohjattuja uudisrakennuskohteita. Kokonaisuutena hankkeen kaikki osapuolet ovat olleet erittäin tyytyväisiä, joten tulevaisuus näyttää valoisalta. Pilottihanke oli myös hyvä osoitus siitä, että työkoneohjauksella saadaan se tavoiteltava hyöty minkä laitteistojen toimittajat lupaavat.

Työkoneohjaus tulee vaikuttamaan paitsi mittamiehen työnkuvaan, myös työkoneen kuljettajan ja suunnittelijoiden tehtäviin. Näiden kaikkien osapuolien tulisi tiivistää yhteistyötä, sillä se tulee edesauttamaan mahdollisten ongelmien poistamiseen suorittavan työn aikana. Suunnittelijoiden tulee jatkossa kiinnittää enemmän huomiota aineistojen luomisessa työkoneille sopivaksi. Erityisesti yleistyneet kolmiulotteiset mallit luovat varmasti haasteensa. Lisäksi tulisi myös kehittää yhteensopivuutta, että kaikki formaatit olisi helposti saatavissa haluttuun yhtenäiseen muotoon. Kaikista helpointa olisi tilata suunnittelijalta suoraan työkoneille sopivat mallinnukset, jotka voitaisiin siirtää sellaisenaan työkoneisiin. Muunnostyöt ovat aikaa vieviä, ja aiheuttavat lisäkustannuksia. Mittamiehen tulee myös jatkossa reagoida aineistojen muutoksiin ja käsittelyihin osana uutta työnkuvaa. Mittamies on työn aikana yleensä se operaattori, joka välittää työkoneille uudet suunnitelmat tai suunnitelmat, joihin on tehty korjauksia työn aikana. Seurantaohjelmien käyttäminen helpottaa huomattavasti tiedonsiirtoa.

Työkoneohjauksen siirtyminen asettaa myös haasteensa uuden oppimiselle ja sisäistämiseksi. Kehittyneen teknologian seurauksena myös työkoneautomaatio on voinut kehittyä siihen pisteeseen, jossa se tällä hetkellä on. Nuoremmat henkilöt, jotka ovat saneet tietotekniikan koulutukseen hyvät perusteet jo kouluvuosinaan, tulevat hallitsemaan uuden tekniikan varsin mutkattomasti. Laittejärjestelmät ovat pelkistettyjä ja pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisina, että kaikilla käyttäjillä olisi edellytykset oppia työskentelemään niiden avulla. Esimerkiksi kokeneille työkoneiden kuljettajille tilanne on varmasti aluksi jopa hieman pelottavaa uuden omaksumista, mutta käytännössä työskentely on ollut positiivinen tapa oppia uusi menetelmä. Kehityksen kasvua voidaan myös odottaa työkoneohjauksen osalta tulevaisuudessa. Mittausteknillisesti tarkkuuteen ja toteutumaan ei voida odottaa suuria muutoksia, sillä laatu on vähintään hyvällä tasolla tässä vaiheessa. Työkoneiden tuottavuuden kasvattamiseksi koneohjauksen hankkiminen on erittäin hyvä peruste. Laitteistot ja niiden tuomat investoinnit ovat osa syy miksi koneohjausta ei vielä soviteta kaikille työmaille. Täytyy myös muistaa että koneohjauksen kustannushyötyä ei voida saavuttaa heti, vaan sen tuottamat taloudelliset tulokset nähdään pitemmällä aikavälillä.

LÄHTEET

- Heikkilä, R – Jaakkola, M. 2004. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Tiehallinnon selvityksiä 61/2004. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Hyvärinen, J – Porkka J. 2010. Inframodel-spesifikaation päivitys. Osoitteessa http://www.rts.fi/infrabim/Inframodel_paivitys_v1_2_VTT_Loppuraportti.pdf.
- Ilmonen, M. 2012. Mitta Oy:n varatoimitusjohtajan projektipalavereista tehdyt muistiinpanot 3.1.2012 ja 27.3.2012.
- Jussila, T. 2012. Oulun kaupungin teknisen liikelaitoksen mittausteknikon haastattelu 9.1.2012.
- Kilpeläinen, P. – Nevala, K. – Tukeva, P. – Rannanjärvi, L. – Näyhä, T. - Parkkila, T. 2004. Älykäs Tietyömaa. Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus. VVT tiedotteita. Espoo: Otamedia Oy.
- Kulluvaara, V. 2012. Rovaniemen kaupungin mittaustyönjohtajan haastattelu 26.3.2012.
- Laurila, P. 2008. Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu julkaisusarja D nro 3
- Leppänen, E. 2010. Rovaniemen kaupungin suunnitteluinsinöörin muistiinpanomateriaali luettu 28.2.2012
- Mitta Oy 2012. Rovaniemellä rakennetaan koneohjatusti. Osoitteessa <http://www.mitta.fi/uutisia.html>. 8.3.2012.
- Nieminen, J-M 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä. AMK-opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu: Lappeenranta.
- Novatron Oy 2011a. Vision 3D installation manual.
- Novatron Oy 2010b. Vision 3D käyttöohje.
- Rovaniemen kaupungin uutisointi 2010. Pöykkölän uudet tontit tulevat haettavaksi vaiheittain (alueittain). Osoitteessa <http://www.rovaniemi.fi/?showmodul=149&deptid=26869&newsid=f679f6a2-9586-4261-ba0d-9d55e74f49c9>. 26.3.2012.
- Salmenperä, H 2004. Paikannus ja työkoneohjaus. Maanmittaus 79:1-2.
- Tietomallit koneohjaushankkeissa. 2010. Tekes loppuraportti. Osoitteessa http://www.rts.fi/infrabim/InfraTM_pilotti_Tampere_Oulu_loppuraportti.pdf.
- Topcon 2010. 3DMC Reference Guide.